

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2009



Petra Müllerová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: M3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Netkané textilie

Katedra netkaných textilií

**Chování kapalin v kontaktu s
textilními útvary**

***Behaviour liquids in contact with
textile shapes***

Autorka: Petra Müllerová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Chaloupek Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Chaloupek Ph.D.

Počet stran textu: 71

Počet obrázků: 57

Počet příloh: 2

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá chováním kapalin v kontaktu s textilními útvary. Práce obsahuje teoretickou část ve které jsou popsány jevy související s chováním kapalin v kontaktu s textilními útvary, především smáčení a vzlínání. V praktické části je proveden experiment s dopadem kapky na textilní vrstvu a jsou zkoumány jevy s tímto dopadem bezprostředně související. Dále je vypracována metodika pro vzlínání na nanovlákněných vrstvách.

Klíčová slova: chování kapalin, smáčení, vzlínání, dopad kapky, nanovlákněné vrstvy.

Annotation

This graduation theses is deal with behaviour liquids in contact with textile shapes. Work includes theoretic part in that are described phenomena associated with behaviour liquids in contact with textile shapes, first of all wetting and capillary action. In practical part is performed experiment with fall drops on the textile layer and are corpused phenomena to that effect fall drop immediately related. Further is draw up philosophy for capillary scction on nanofibrous thicknesses.

Key words: behaviour liquids, wetting, capillary action, fall drops, nanofibres measures.

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 20. 5. 2009

.....

Podpis

Poděkování

V tomto odstavci bych chtěla poděkovat především svému konzultantovi panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi Ph.D. za věcné rady a cenné připomínky. Dále pak své mamce a prarodičům za psychickou a finanční podporu při celém mém studiu. A nakonec, ale určitě ne v poslední řadě, svému příteli Miloslavu Ledvinovi za pomoc při práci na experimentu a za neuvěřitelnou trpělivost, kterou se mnou měl.

Obsah

Anotace	
Annotation	
Místopřísežné prohlášení	
Poděkování.....	
Obsah	6
Seznam použitých symbolů	7
Úvod.....	10
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 Povrchové napětí kapalin	13
1.1 Měření povrchového napětí	14
1.2 Možnosti ovlivnění povrchového napětí.....	15
2 Kapilární tlak	15
2.1 Kapilární elevace a deprese	18
3 Smáčení.....	19
3.1 Měření a hodnocení úhlu smáčení	20
3.1.1 Přímé metody	20
3.1.2 Nepřímé metody	23
3.2 Smáčení vlákenných útvarů	24
3.2.1 Dokonalé smáčení mikroskopickým kapalinovým filmem	24
3.2.2 Smáčení vlákna makroskopickým filmem.....	25
3.2.3 Dokonalé smáčení svazku vláken	27
4 Vzlínání.....	28
4.1 Měření a hodnocení vzlínání.....	29
4.2 Vzlínání na vlákenných útvarech.....	32
4.2.1 Lucasův - Washburnův vztah	33
4.2.2 Vzlínání kapaliny do válcové kapiláry	36
5 Dopad kapek na síto.....	36
5.1 Kritická rychlost	38
5.2 Formování prstu	39
5.3 Chování nad kritickou rychlostí.....	39
6 Nanovlákná	40
7 Mikroskopy používané pro pozorování vlákenných vrstev	43
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
1 Výroba a definování vlastností vzorků	47
2 Experiment s dopadem kapky na textilií.....	52
2.1 Vyhodnocení experimentu s dopadem kapky na textilií.....	54
3 Experiment se vzlínáním kapaliny do nanovláknenných vrstev	59
3.1 Upravený proužkový test	60
3.1.1 Navržený test	62
3.2 Upravený skvrnový test	64
ZÁVĚR	67
Literatura.....	69
Seznam příloh	71
PŘÍLOHA 1	I
Grafické vyhodnocení experimentu s dopadem kapky na textilií	
PŘÍLOHA 2	XV
Graficky definované použité textilie	

Seznam použitých symbolů

b	poloměr válců
d	průměr podstavy kulové úseče
$2d$	vzdálenost válců
$2d_{tr}$	vzdálenost, která charakterizuje přechod mezi oběma stavy kapalinového tělesa
dx	elementární posuv, diferenciál nezávisle proměnné x
e	tloušťka kapalinového filmu na vlákne
g (gas)	plyn
g_t	tíhové zrychlení
g_z	gravitační zrychlení [$9,81 \text{ m.s}^{-2}$]
h	výška kulové úseče
h_k	výška sloupce kapaliny
h_p	přímá dráha proudu kapaliny
h_t	délka trubice
l (liquid)	kapalina
l_{AC}	je celková délka oblouků AA' a CC' volného povrchu kapaliny
l_{AB}	je celková délka oblouků AA' a BB' volného povrchu kapaliny
m	hmotnost [kg]
$p_{1,2}$	tlaky v kapiláře
p_{ka}	kapilární tlak
r	poloměr podstavy kulové úseče
r_d	poloměr díry v destičce
r_e	efektivní poloměr póru
r_k	poloměr trubice
r_m	poloměr sféry molekulového působení
r_w	redukovaný poloměr póru
s (solid)	pevná látka
t	čas
v (velocity)	rychlost
v_j	rychlost vytrysknutí kapky
v^*	kritická rychlost
x	nezávisle proměnná

Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary

A	kontaktní linie
AA´	oblouk
AC	levý oblouk válce
BB´	oblouk
BD	pravý oblouk válce
CC´	oblouk
D	průměr kapky
E	poloměr kapalinového tělesa pokrývajícího svazek vláken
F	síla působící v rovině povrchu kapaliny kolmo na délku L
F_G	gravitační síla
F_m	výslednice kohezních sil
F_{sl}	síla působící podél kruhových oblouků AC a BD
F_{sg}	tlaková síla působící dovnitř vydutého kapalinového tělesa
F_v	síla vztlínání
G	plošný obsah řezu kapalinového tělesa
H	sací výška
K	konstanta
L	délka
L_{AC}	délka oblouku AC
L_{BD}	délka oblouku BD
O	obvod podstavy válcové kapiláry [m]
R_K	poloměr podstavy válcové kapiláry [m]
S	střed koule příslušné úseče
S_K	plocha podstavy válcové kapiláry [m ²]
T	faktor určený poměrem skutečné délky kapalinového proudu h ku přímé dráze
V	objem kapaliny (kapky)
W	energie potřebná k vytvoření povrchové vrstvy
dW	změna práce
W_P	prostup
α	úhel opásání
γ	povrchové napětí kapalina-vzduch
γ_{sg}	povrchové napětí pevná látka-vzduch
γ_{sl}	povrchové napětí pevná látka-kapalina

Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary

μ	viskozita
π	Ludolfovo číslo (konstanta 3,14159)
ρ	hustota kapaliny [kg.m^{-3}]
θ	úhel smáčení

Úvod

V této práci jsou zkoumány obdivuhodné jevy, související s kapalinami v kontaktu s pevnou látkou, které si příroda připravila pro toho kdo je ochoten věnovat jim svou pozornost. Ať už jde o povrchové napětí, které udrží na hladině vody haléřovou minci nebo o vzlínání díky kterému vznikají umělecky vyvedené mapy i tam kde si to člověk nepřeje. Kohezní tlak je zase příčinou toho, že PET láhev plnou vody nestlačí ani největší silák ve vesnici. O důležitosti smáčení se pak přesvědčí každý kdo se bude pokoušet utřít omyté nádoby nevypranou utěrkou. V této diplomové práci jsou detailněji popsány již zmíněné ale i další jevy spojené s chováním kapalin v kontaktu s textilními útvary.

Pro náplň praktické části diplomové práce byla důležitá inspirace pokusem, který provedl Quéré [30] s dopadem kapky na kovovou destičku s otvory menšími než je průměr kapky. Poprvé v této práci je podobný jev aplikovaný na nanovláknennou vrstvu. Pro účel tohoto experimentu jsou použity textilní vrstvy s různými vlastnostmi. Kapka je sledována při dopadu na smáčivou a nesmáčivou textilií, na textilie s nanovláknennou vrstvou, nanosenou na nesmáčivou textilií, a také na nanovláknennou vrstvu s upravenými vlastnostmi povrchu vláken. Dalším důležitým parametrem, měněným při pokusu, je výška, ze které je kapka pouštěna na textilní materiál. Rozdíly v chování kapaliny jsou podrobněji popsány v praktické části.

Chování při dopadu, nebo možná lépe řečeno při nárazu, kapaliny do textilie, je důležité například pro zachytávání kapalných látek různými filtry nebo hygienickými rouškami. Rychlost kapének uvolněných při kýchnutí může dosahovat až 170 km/hod. Tyto kapénky obsahují spousty nebezpečných látek (např. přes 100 000 bakterií) a jejich zachycení rouškou je velmi důležité ve sterilním prostředí, které je vyžadováno především na operačních sálech [39].

V druhé polovině praktické části je vypracována metodika pro vzlínání na nanovláknenných vrstvách. Pro nanovláknenné vrstvy nejdou použít klasické normované postupy pro hodnocení vzlínání. Proužkový test vyžaduje ponoření textilie do zásobníku s kapalinou, nanovláknenná vrstva má však příliš malou plošnou hmotnost a proužek textilie se deformuje, prakticky ihned po odstranění nosné textilie. Dále po vnoření do kapaliny začnou v nanovláknenné vrstvě působit kapilární síly a dojde tak k jejímu smrštění, což nepřípustně ovlivňuje test. Zdeformování textilie je ukázáno na obrázcích v druhé polovině praktické části.

Naprosto nepoužitelný je dynamický a sifonový test. Jejich nevhodnost vychází z charakteru obou testů, které jsou popsány ve čtvrté kapitole teoretické části, stejně jako ostatní testy, používané pro hodnocení vzlínání textilií.

Pro vypracování metodiky byly zvoleny a pro potřeby nanovlákněných vrstev upraveny proužkový a skvrnový test. Úprava pro skvrnový test spočívala v nalepení a ve vypnutí nanovlákněné textilie do kruhového papírového rámečku. Pro potřeby proužkového testu pak bylo zapotřebí upevnění horního okraje proužku a zatížení dolního okraje. Metodika pro hodnocení vzlínání je podrobněji popsána ke konci praktické části.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Povrchové napětí kapalin

Povrch kapaliny se chová vlivem kohézních sil tak, jako by byl tvořen povrchovou blanou mající snahu se stahovat a zaujmout co nejmenší plochu. Důsledkem jsou tečné síly působící v rovině povrchu kapaliny [1].

Povrchová vrstva je velmi tenká, její tloušťka je asi 10^{-7} cm a její fyzikální a chemické vlastnosti jsou poněkud jiné než vlastnosti vnitřních částí kapalin, ale přesto dokáže na hladině vody udržet haléřovou minci, jak je ukázáno na *Obr.1* [37].



Obr. 1: Dvacetihaléř držený povrchovým napětím na hladině vody [22].

V povrchové bláně je vlivem povrchového napětí nahromaděna jistá energie, tzv. povrchová energie. Určení energie potřebné k vytvoření povrchové vrstvy W , která je dle definice dána vztahem

$$W = S \gamma \quad (1)$$

zde S znamená plochu uvažovaného povrchu, a γ je povrchové napětí, takže

$$\gamma = \frac{W}{S} \quad (2)$$

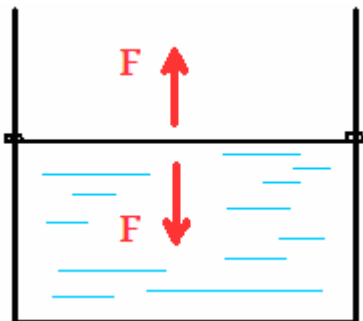
znamená energii jednotky plochy povrchové vrstvy, tedy plošnou hustotu energie měřenou v jednotkách $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ [2].

1.1 Měření povrchového napětí

Pro měření povrchového napětí kapalin existuje několik rozdílných metod

- Statické metody jsou založeny na sledování ustáleného rovnovážného stavu. Řadíme sem např. metody kapilární elevace, sledování tvaru kapek a bublin v gravitačním poli nebo metody vyvažování destičky [11].
- Semistatické metody jsou stejně jako statické metody založeny na dosažení rovnovážného stavu soustavy. V tomto případě je však rovnováha nestabilní. Řadíme sem např. metodu maximálního přetlaku v bublině, metodu odtrhování prstence a metodu vážení kapky [11].
- Dynamické metody se používají hlavně pro studium výrazně nerovnovážných povrchových vrstev kapalin a rychlosti ustalování rovnovážné struktury jejich povrchu. Takovouto metodou je například metoda oscilujícího paprsku [11].

Pro kapaliny je možné měřit povrchové napětí například i tak, že natáhneme v rámečku kapalinu do určité délky působením povrchových sil F jak je vidět na Obr. 2 [2].



Obr. 2: Měření povrchového napětí v rámečku s proměnnou plochou [2].

Protože povrchové síly jsou síly centrální, lze pro F psát

$$F = \frac{dW}{dx} = \frac{d(\gamma 2Lx)}{dx} = \gamma 2L \quad (3)$$

a tedy

$$\gamma = \frac{F}{2L} \quad (4)$$

Součinitel 2 vznikl ve vztahu (6) tím, že povrchová vrstva je v rámečku dvojitá, takže její délka je $2L$ [2].

1.2 Možnosti ovlivnění povrchového napětí

Povrchové napětí lze ovlivnit mnoha různými faktory, mezi nejdůležitější patří teplota, tlak a povrchově aktivní látky, popsány detailněji níže. Dále pak závisí na druhu kapaliny, na prostředí nad volným povrchem kapaliny a na mnoha dalších faktorech.

Následkem zvyšování teploty se povrchové napětí snižuje a po dosažení kritické teploty kapaliny povrchové napětí klesá a nakonec mizí. Práce potřebná k tomu aby zvýšila plochu povrchu kapaliny je spotřebována k tomu aby přivedla další molekuly z vnitřku svazku na povrch, a to když dojde k překonání přitažlivých sil okolních molekul. Se zvýšením teploty se zvyšuje kinetická energie molekul a je částečně překonána přitažlivá síla mezi molekulami [8].

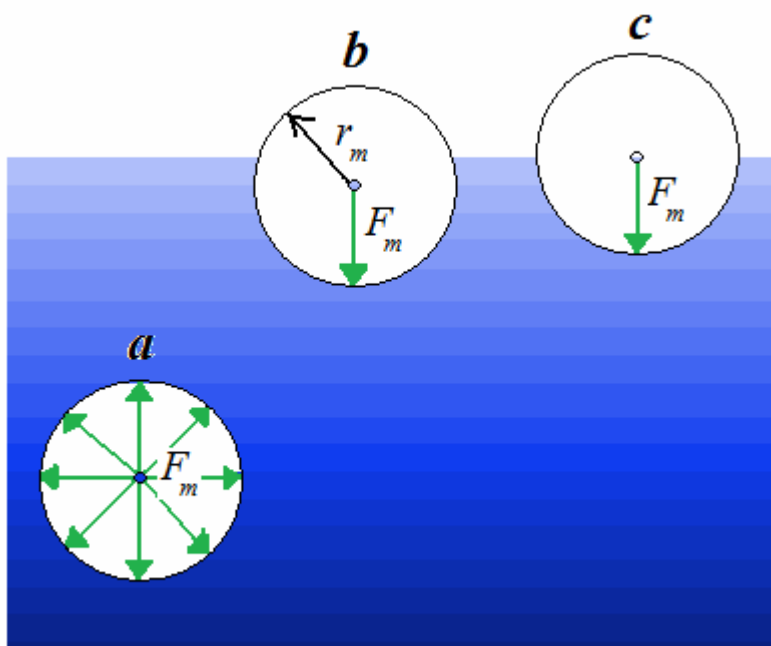
Zvýšení tlaku páry na kapalný povrch má za následek přivedení větších molekul páry do kontaktu s kapalným povrchem což způsobuje vyšší tlak na kapalný povrch. Přitažlivost těchto molekul je neutralizována mírou vnitřní přitažlivosti molekul. Následkem toho se povrchové napětí snižuje se stoupajícím tlakem [8].

Povrchově aktivní látky jsou označovány zkratkou PAL, dříve rovněž nazývané kapilárně aktivní látka. Je to látka, která snižuje povrchovou, popř. mezifázovou energii a proto se samovolně koncentruje ve fázovém rozhraní [23].

Pro povrchově aktivní látky ve vodných roztocích je i v češtině často používáno označení surfaktanty, převzaté z angličtiny, nebo tenzidy, převzaté z němčiny [23].

2 Kapilární tlak

Pojem kapilární tlak je často v literatuře uváděn také jako tlak Laplaceův [12]. Přitažlivé neboli kohezní síly mezi molekulami látek mají velmi krátký dosah. Proto je každá molekula kapaliny přitahována pouze těmi molekulami, které se v daném okamžiku nacházejí uvnitř kolem ní opsané koule nepatrného poloměru $r_m (\approx 10^{-9} m)$. Tuto kouli nazýváme sférou molekulového působení jak je názorně ukázáno na Obr.3 [35].



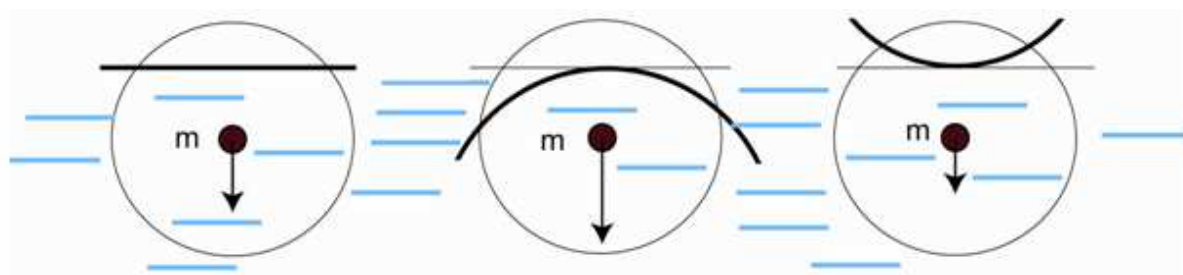
Obr. 3: Sféry molekulového působení [35].

Leží-li celá sféra molekulového působení uvnitř kapaliny, viz. Obr. 3 a, je výsledná přitažlivá síla, působící na molekulu v jejím středu, nulová. Je-li však molekula kapaliny na jejím povrchu nebo v jeho těsné blízkosti, mohou se v její sféře molekulového působení nacházet i molekuly prostředí, se kterým kapalina sousedí [35].

Je-li tímto „sousedem“ vzduch (plyn), jehož hustota je nesrovnatelně menší, než hustota kapaliny, míří výslednice F_m kohezních sil, působících na molekulu, dovnitř kapaliny a je kolmá k jejímu (volnému) povrchu, viz. Obr. 3 b,c. Ve sféře molekulového působení povrchových molekul je totiž podstatně více molekul kapaliny než molekul plynu sousedícího s jejím povrchem [35].

Tloušťka povrchové vrstvy kapaliny, jejíž molekuly jsou přitahovány dovnitř kapaliny, je přibližně rovna poloměru r_m sféry molekulového působení. Vzhledem k tomu, že molekuly povrchové vrstvy jsou přitahovány dovnitř kapaliny, působí povrchová vrstva na „vnitřní“ kapalinu plošnou tlakovou silou a vyvolává v ní tzv. kohezní tlak. Tento tlak nelze změřit, neboť jakákoliv tlakoměrná sonda uvnitř kapaliny se stýká opět pouze s její povrchovou vrstvou. Teoreticky bylo zjištěno, že kohezní tlak v kapalinách dosahuje velkých hodnot, např. pro vodu se udává hodnota 10^9 Pa a prakticky tak znemožňuje jejich další stlačitelnost [35].

Tlak vzniklý zakřivením povrchu se nazývá kapilární [11]. Na *Obr. 4* jsou tři molekuly ve stejné vzdálenosti pod povrchem. V prvním případě pod povrchem rovinným, v druhém případě je povrch konvexní a ve třetím konkávní. Složka molekulárních sil, jež na molekulu působí z vnitřku kapaliny, je větší při konvexním povrchu a naopak menší při konkávním povrchu, než při rovinném. Ve třetím případě (konkávní) je kohezní tlak, který působí na rovinný povrch zvětšen ještě o přídavný tlak, tzv. tlak kapilární [12].



Obr. 4: Výslednice molekulárních sil v rovinném a zakřiveném povrchu kapaliny. Písmeno m označuje molekulu [12].

Kapilární tlak se dá vypočítat s využitím povrchového napětí γ . Vychází se z detailního pohledu na zakřivený povrch kapaliny *Obr.5*. Při obecně zakřiveném povrchu se v každém jeho bodě dají vést dva k sobě kolmé normálové řezy A_1B_1 a A_2B_2 . Tlak způsobený zakřivením A_1B_1 je

$$p_1 = \frac{\gamma}{R_1} \quad (5)$$

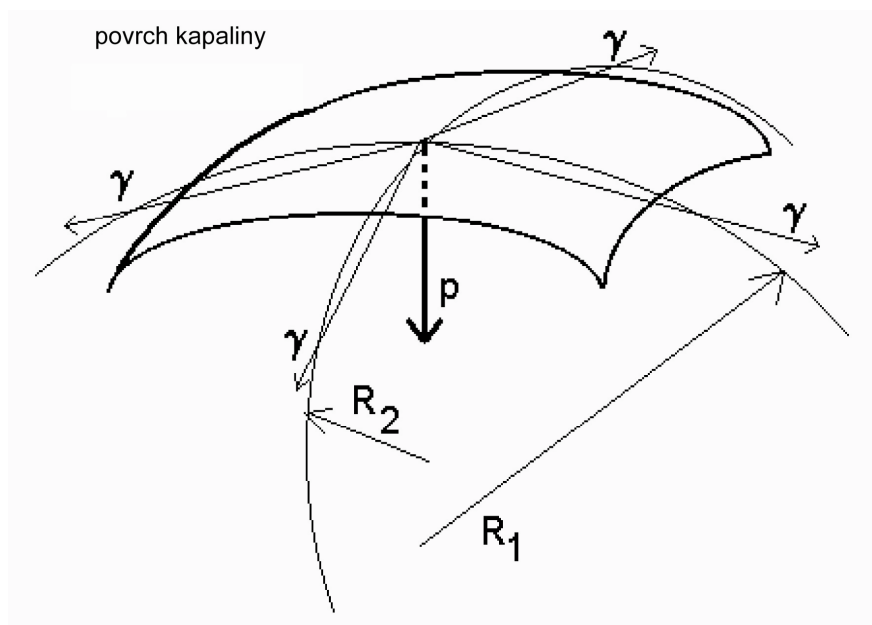
a tlak vznikající zakřivením A_2B_2 je

$$p_2 = \frac{\gamma}{R_2} \quad (6)$$

Kapilární tlak p_{ka} je součtem dílčích tlaků a zapisuje se jako

$$p_{ka} = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (7)$$

kde R_1 a R_2 jsou poloměry křivosti pod zakřiveným povrchem kapaliny [12].

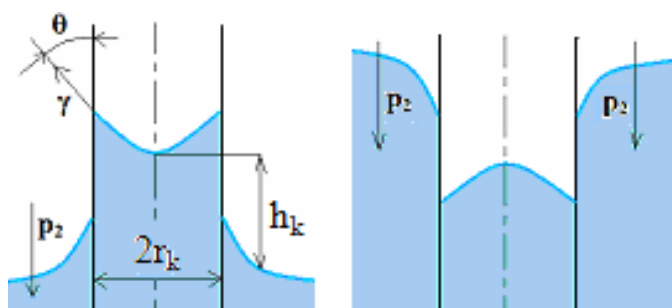


Obr. 5: Schéma zakřiveného povrchu kapaliny [12].

2.1 Kapilární elevace a deprese

Kapilární elevace a deprese přímo souvisí se zakřivením povrchu kapaliny, při němž je změna tlaku při průchodu povrchovým rozhraním jiná než při rovinném povrchu. Jestliže do vody ponoříme úzkou trubici, hladina vody v trubici nebude rovná. Povrch hladiny vody se zakřivuje a tvoří meniskus, buď vydutý (konkávní) nebo vypouklý (konvexní). Platí úzká souvislost mezi tvarem menisku a výškou vody v trubici [12].

Při konkávním menisku vystoupí kapalina výše, než okolní vodorovný povrch kapaliny [12]. Tomuto jevu se říká kapilární elevace [24] Obr. 6a. Naopak, je-li hladina vody v trubici níž než okolní vodorovná hladina, vzniká kapilární deprese Obr. 6b [12, 25].



Obr. 6: a) kapilární elevace [24], b) kapilární deprese [13, 25].

Vztah pro výpočet povrchového napětí při kapilární elevaci a depresi je

$$\gamma = \frac{r_k \rho h_k g_t}{2 \cos \theta} \quad (8)$$

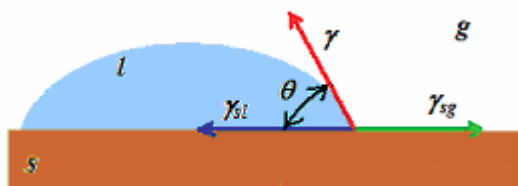
kde r_k je poloměrem trubice, ρ je hustota kapaliny, h_k je výška sloupce kapaliny visící na vnitřní stěně trubičky svou povrchovou blanou, g_t je tíhové zrychlení a θ je úhel smáčení [13].

3 Smáčení

Smáčení lze nejnázorněji popsat pomocí úhlu smáčení, což je úhel který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním. Je hlavní charakteristikou tvaru kapky kapaliny umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky jak je názorně ukázáno na *Obr. 7* [3].

Je-li systém v klidu vzniká statický kontaktní úhel, je-li v pohybu, vzniká dynamický. Systém, který je v klidu je v rovnováze, stabilní rovnováha vzniká je-li pevná látka ideálně homogenní, neboli planární a nedeformovaná, a vzniká tak rovnovážný kontaktní úhel. Pokud systém v rovnováze není, vznikají metastabilní stavy a metastabilní kontaktní úhel, který se mění s objemem kapky, s dodanou vnější energií a podle způsobu s jakým se kapaliny mění může být stoupající nebo klesající [26].

Reálné povrchy nejsou zcela hladké a bývají heterogenní. Na ideálním homogenním povrchu je rovnovážný kontaktní úhel roven Youngovu kontaktnímu úhlu, na reálném povrchu je rovnovážný kontaktní úhel roven Wenzelovu kontaktnímu úhlu. V tomto případě vznikají nerovné klesající a stoupající úhly což znamená že vzniká hystereze, stoupající úhel se nechová stejně jako klesající [26].



Obr. 7: Kapka kapaliny na tuhém povrchu [3, 26].

Vztah mezi úhlem smáčení θ a jednotlivými mezifázovými napětími je dán Youngovou rovnicí

$$\gamma \cdot \cos \theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (9)$$

Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka-kapalina-plyn [3, 26].

O dokonalém smáčení hovoříme v případě, když úhel smáčení θ je nulový. Z Youngovy rovnice pro tento případ plyne

$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \gamma \geq 0 \quad (10)$$

Při dokonalém smáčení je povrchové napětí na rozhraní pevná látka-plyn větší než součet povrchového napětí kapaliny a rozhraní kapalina-pevná látka [5].

3.1 Měření a hodnocení úhlu smáčení

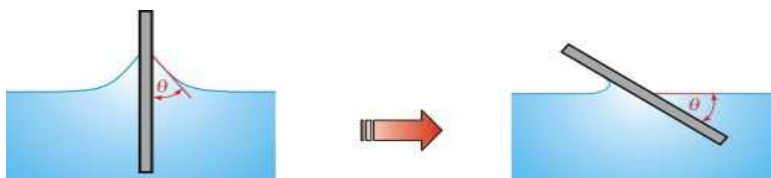
Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka/kapalina/plyn. Může být stanoven přímým goniometrickým měřením nebo nepřímými, tenziometrickými metodami, popř. metodami založenými na geometrické analýze tvaru menisku [4].

3.1.1 Přímé metody

- **Měření úhlu smáčení na hladké naklánějící se destičce**

Patří k historicky nejstarším a nejjednodušším metodám. Destička ze zkoumaného materiálu je vnořena do kapaliny a poté nakláněna tak dlouho, až je povrch kapaliny na jedné straně destičky rovný až k čáře styku mezi deskou a kapalinou, ukázka na Obr.8. V tomto okamžiku svírá hladina kapaliny s rovinou destičky právě úhel θ . Při měření je důležité zajistit, aby povrchy měřené kapaliny i destičky byly dokonale čisté. Metoda byla používána pro měření malých úhlů (menších než 10°) [4].

Nevýhodou této metody je, že naměřená hodnota úhlu smáčení leží někde mezi hodnotami úhlu postupujícího a ustupujícího (hystereze úhlu smáčení) [4].

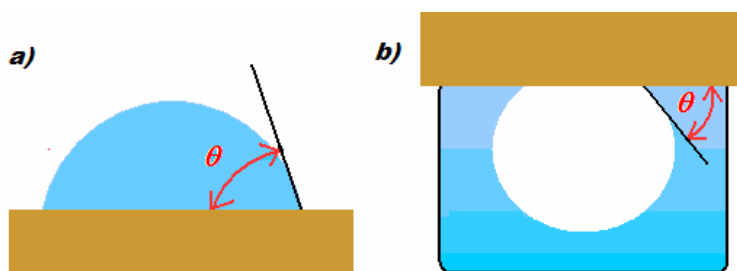


Obr. 8: Měření úhlu smáčení na naklánějící se destičce [4].

K zjištění úhlu smáčení pomocí metody naklánějící se destičky je potřeba, narozdíl od metody projekce kapky, velké množství kapaliny [6].

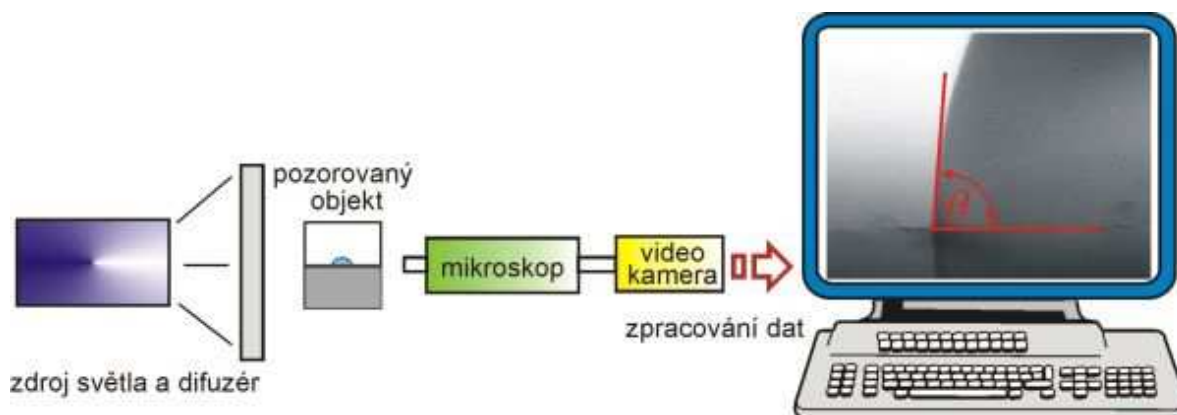
- **Měření úhlu smáčení pomocí projekce kapky**

Přisedlá kapka (Obr. 9a) nebo bublina přilínající k tuhé látce ponořené do kapaliny (Obr. 9b) je pozorována mikroskopem vybaveným goniometrickým okulárem, což umožňuje přímo odečíst úhel smáčení nebo je úhel vyhodnocován z fotografie kapky. V obou případech však přesnost metody není vysoká a značně závisí na zkušenostech experimentátora [4].



Obr. 9: Přisedlá kapka (a) a přilínající kapka (b) [4].

Při použití videokamery pro snímání obrazu kapky a počítače pro jeho digitalizaci a vyhodnocení (Obr. 10) se přesnost zvyšuje a lze očekávat stanovení úhlu smáčení s přesností okolo 1° [4].

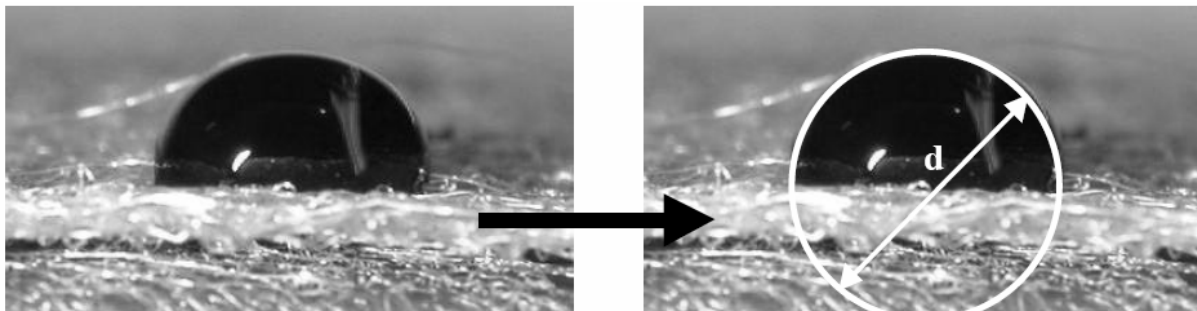


Obr. 10: Schéma uspořádání při měření úhlu smáčení [4].

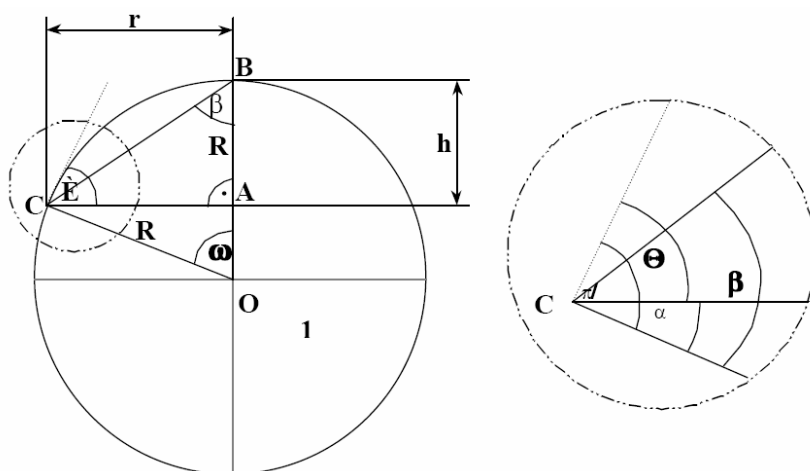
Při stanovení úhlu smáčení je třeba brát v úvahu hysterezi. Je proto nutné uvádět, zda měříme úhel postupující nebo ustupující. Většina publikovaných prací se týká postupujících úhlů. Experiment je pak uspořádán tak, že je snímán sled kapek, jejichž objem je postupným přidáváním malých množství kapaliny zvětšován, čímž roste i průměr kapky. Průměrná hodnota úhlu smáčení potom lépe charakterizuje zkoumaný povrch. Při pozorování velmi malých kapek se uplatňuje i vliv liniového napětí a vliv zakřivení povrchu. Je proto doporučováno, aby průměr kapky činil alespoň 5 mm [4].

- **Měření úhlu smáčení z průměru podstavy a výšky sférické kapky**

Malé kapky kapaliny mají s dobrým přiblížením tvar kulové úseče. Na jejich průmětu na stínítku získaného projekcí kapky přesněji zjistíme výšku h a průměr d základny kapky nežli úhel smáčení získaný přikládáním tečny v bodě dotyku s podložkou, viz. *Obr.11*. Na základě znalosti h a d lze pak snadno úhel smáčení vypočítat jak je ukázáno dále na *Obr.12* [6].



Obr. 11: Reálná kulová kapka přisedlá na netkané textilií [6].



Obr. 12: Pomocná schémata kulové kapky v podobě kulové úseče výšky h a průměru podstavy d . Trojúhelník ABS , kde S je střed koule příslušné úseče, je pravoúhlý. Úhlem smáčení měřeným v bodě A dá hodnotu θ [6].

Vztah pro výpočet úhlu smáčení

$$\theta = 2 \arctg \frac{h}{r} \quad (11)$$

Vztah je platný i pro úhly smáčení nad 90° . Podmínkou jeho použitelnosti jsou kapky tvaru kulové úseče [6], tedy kapky které leží na nesmáčivém povrchu a není na ně působeno deformačními silami okolí.

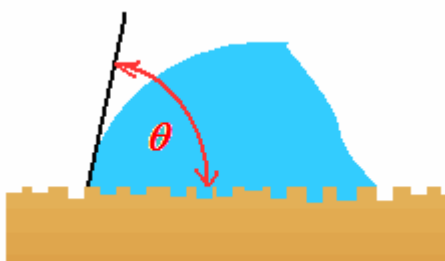
Koule má ze všech těles stejného objemu nejmenší povrch. Přibližně kulový objem kapaliny se vytváří výrazněji ovšem jen tehdy, jsou-li vnější síly velmi malé oproti povrchovým silám. Tak přibližně kulový tvar mají kapky při výtoku kapalin, drobné kapičky kapalin (vody) tvořící mlhu, drobné kapičky oleje nebo tuků v emulzi s vodou nebo například kapičky rozlité rtuti apod. [37].

3.1.2 Nepřímé metody

Toto měření je založeno na tenziometrických metodách (kapilární elevace na svislé destičce, vyvažování Wilhelmyho destičky) nebo na analýze profilu kapky (metoda ADSA) [4].

- **Stanovení úhlu smáčení na drsných rovinných površích**

Na drsných površích, viz. *Obr13*, jako jsou např. biologické materiály, je měření kontaktních úhlů obtížné a to nejen proto, že jejich hodnoty jsou malé, ale také proto, že povrchy jsou morfologicky i energeticky nestejnorodé, což vede k vytvoření linie smáčení nepravidelného tvaru. Kontaktní úhly odečtené na takových kapkách nejsou spolehlivé. Tyto problémy řeší metoda analýzy profilu axisymetrické kapky na základě měření jejího průměru (ASDA-D) což je modifikace metody analýzy profilu kapky [4].



Obr. 13: Kapka přisedlá na drsný povrch [3].

Kapka, umístěná na drsný povrch, je pozorována shora mikroskopem, snímána videokamerou, obraz digitalizován a vyhodnocen střední průměr kapky, který spolu se známým objemem kapky, povrchovým napětím kapaliny a rozdílem hustot kapaliny a okolní plynné nebo druhé kapalně fáze umožňuje vypočítat úhel smáčení. Mezi průměrem kapky D , jejím objemem V a úhlem smáčení byl odvozen vztah

$$\frac{D^3}{V} = \frac{24 \sin^3 \theta}{\pi(2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta)} \quad (12)$$

I když hodnoty úhlu smáčení naměřené na drsných površích není možno použít pro vyhodnocení povrchových energií tuhých látek, mohou poskytnout cenné informace o smáčivosti daného povrchu [4].

3.2 Smáčení vláknenných útvarů

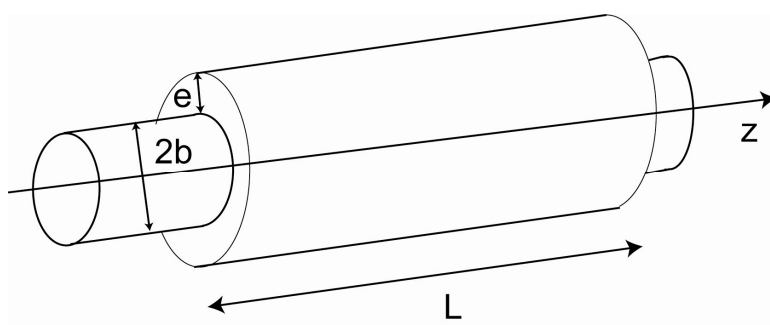
Jednou z důležitých užitných vlastností netkaných textilií je jejich smáčivost. Smáčivostí se rozumí schopnost textilie transportovat a zadržovat tekutinu zpravidla v mezivláknenných prostorech její vnitřní struktury [5].

Vlákno je s kapalinou pouze v místním styku a to například v případě, že je částečně ponořeno, kapky kapaliny jsou na povrchu. V těchto případech dochází k procesům smáčení, což se projeví ustavením rovnováhy mezi kapalinou a povrchem vlákna [7].

Smáčivost je možné ovlivnit výběrem vláken a způsobem zpevnění vláknenné vrstvy, úpravou povrchu vláknenného materiálu, geometrickými charakteristikami vláken a vnitřní strukturou materiálu. Takovýmito charakteristikami můžeme rozumět zejména orientaci vláken, hodnotu koeficientu objemového zaplnění a dále pak typ a distribuci pojiva [5].

3.2.1 Dokonalé smáčení mikroskopickým kapalinovým filmem

Představme si nyní vlákno o poloměru b pokryté filmem kapaliny o tloušťce e tak, jak ukazuje Obr.14 [12].



Obr.14: Vlákno o poloměru b pokrývá vrstva kapaliny o tloušťce e a délce L . Obrázek zachycuje případ dokonalého smáčení vlákna [12].

Postup, který vede k vyřešení takovéto situace, byl poprvé uveden Brochardovou a je platný jen pro velmi tenké kapalinové filmy, kdy je Rayleighova nestabilita stabilizována krátko dosahovými mezimolekulárními silami. K dokonalému smáčení vlákna kapalinou dojde tehdy, když celková povrchová energie W vnějšího povrchu filmu kapaliny a povrchu styku mezi vláknem a kapalinou připadající na délku vlákna L bude menší, než povrchová energie téže délky suchého vlákna W_f . Pro povrchové energie W a W_f platí

$$W_f - W = 2\pi L b \left[\gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \left(1 + \frac{e}{b} \right) \gamma \right] > 0. \quad (13)$$

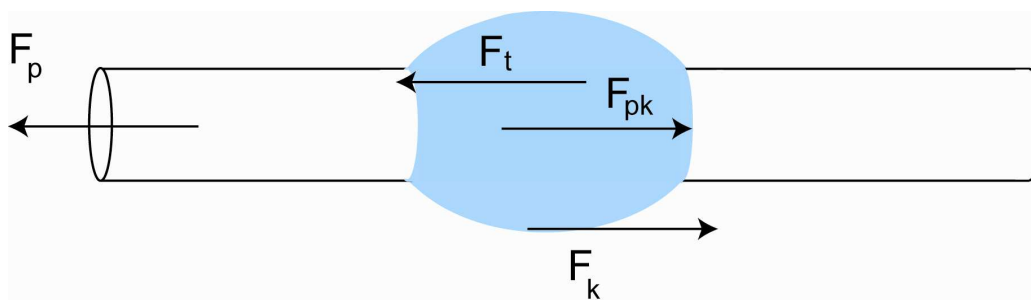
Úpravou nerovnosti (13) využívající Harkinsonova (roztíracího) koeficientu S získáme podmínku pro dokonalé smáčení vlákna ve tvaru

$$S \geq \frac{e}{b} \gamma. \quad (14)$$

Jednotlivá vlákna jsou méně ochotna smáčet se kapalinou než rovinné útvary vyrobené z téhož materiálu. Odpor vůči dokonalému smáčení roste se zmenšujícím se poloměrem vlákna b [12].

3.2.2 Smáčení vlákna makroskopickým filmem

Při řešení smáčení vlákna makroskopickým filmem bylo využito poznatků Princena týkající se studia tvarů kapalinových těles mezi dvěma a více válci. Je uvažována rovnováha sil na čele válcovitého kapalinového tělesa obklopujícího vlákno, viz *Obr. 15* [12].



Obr.15: Grafické znázornění rovnováhy sil na vlákně pokrytém kapalinovým filmem makroskopické tloušťky [12].

Na čele kapalinového tělesa působí podél osy vlákna čtyři síly F_{sg} , F_{sl} , F_l a F_t . Síla F_{sg} je generována povrchovým napětím γ_{sg} na rozhraní pevné látky (vlákna) a plynu. Ve stejném směru, ale s opačnou orientací působí síla F_{sl} vyvolávaná povrchovým napětím γ_{sl} mezi kapalinou a vláknem. Stejný směr a orientaci jako F_{sl} má další síla, kterou jsme označili F_l . Tato síla je vytvářena v důsledku existence povrchového napětí γ na povrchu kapalin. Síla F_t je způsobena Laplaceovým tlakem. V důsledku vypouklého tvaru kapalinového tělesa na vlákně působí tato síla vně kapalinového tělesa. Její složka F_t působí podél osy vlákna a má hodnotu

$$F_t = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \pi (R_1^2 - b^2) \quad (15)$$

kde $\frac{1}{R_1}$ a $\frac{1}{R_2}$ jsou hlavní křivosti kapalinového tělesa. Hlavní křivosti určujeme v bodě ležícím na povrchu kapalinového tělesa v místě maximální šířky [12].

Ostatní síly jsou dány vztahy

$$F_{sg} = 2\pi b \gamma_{sg} \quad (16)$$

$$F_{sl} = 2\pi b \gamma_{sl} \quad (17)$$

$$F_l = 2\pi (b+e) \gamma = 2\pi R_1 \gamma \quad (18)$$

Poloměr křivosti R_1 zavedeme jako poloměr této kružnice. Pro R_1 z Obr. 14 platí

$$R_1 = e + b. \quad (19)$$

Známe-li úhel smáčení a poloměr R_1 , můžeme z této relace zjistit poloměr druhé hlavní křivosti R_2 . Známe-li navíc povrchové napětí kapalin γ , lze určit Laplaceův tlak uvnitř kapky přisedlé na vlákně

$$R_2 = R_1 \frac{R_1^2 - b^2}{R_1^2 - 2bR_1 \cos \theta + b^2}. \quad (20)$$

Poloměr křivosti R_2 přísluší řezu kapalinového tělesa, který je kolmý k rovině obsahující kružnici R_1 a prochází osou vláken. Kapalinové těleso na povrchu vlákna se nachází v rovnováze za následující podmínky rovnováhy složek sil

$$F_{kp} + F_k = F_p + F_t \quad (21)$$

kterou rozepíšeme podrobněji jako

$$2\pi b \gamma_{kp} + 2\pi R_1 \gamma = 2\pi b \gamma_p + \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \pi (R_1^2 - b^2). \quad (22)$$

a dále za předpokladu, že hodnota R_2 bude nenonečně veliká ($R_2 \rightarrow \infty$) a vyjádříme-li poloměr kapalinového tělesa $R_1 = b + e$, dostaneme úpravou kvadratickou rovnici pro e

$$\frac{\gamma}{2b} e^2 = Se - bS = 0, \quad (23)$$

která má řešení

$$e_{1,2} = \frac{bS}{\gamma} \pm \sqrt{\frac{b^2 S^2}{\gamma^2} + \frac{2b^2 S}{\gamma}} \quad (24)$$

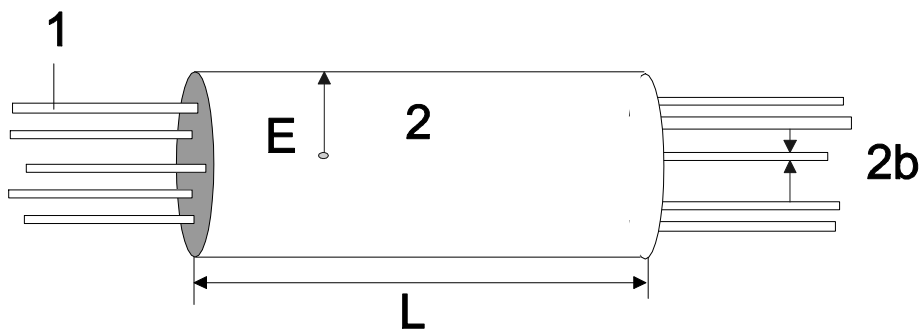
Fyzikálně smysluplné jsou jen kladné hodnoty e , proto budeme dále uvažovat jen řešení e_1 se znaménkem $+$ před odmocninou v (24) [12].

Další úpravou je dosaženo vztahu pro výpočet tloušťky kapalinového filmu určeného Van der Waalsovými interakcemi. Vztah (25) je vyjádřením podmínky pro dokonalé smáčení vlákna [12].

$$S > \frac{\gamma e^2}{2b(b+e)} \quad (25)$$

3.2.3 Dokonalé smáčení svazku vláken

Tento postup poprvé použili ve své práci Lukáš a Pan. Kapalinový film smáčející tento svazek bude mikroskopické tloušťky. Ve svazku se nachází n vláken. Teoreticky je v případě dokonalého smáčení svazek vláken obklopen válcovitým tělesem kapaliny o poloměru E a délce L . Poloměr vláken je značen b v Obr.16 [12].



Obr.16: Úzký svazek $n = 5$ paralelních vláken (1) je obklopen válcovitou vrstvou kapaliny (2) délky L . Poloměr válcovitého tělesa kapaliny je E a poloměr vláken je označen b [12].

Podmínka pro dokonalé smáčení je

$$W_f - W = 2\pi L n b \left[\gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \gamma \left(\frac{E}{nb} \right) \right] > 0 \quad (26)$$

Pomocí roztíracího koeficientu S je upravena nerovnost ve vztahu (26) na

$$S_{sv} > \frac{E - nb}{nb} \gamma. \quad (27)$$

kde E je poloměr kapalinového tělesa pokrývajícího svazek vláken [12].

4 Vzlínání

Smáčení a vzlínání nejsou různé procesy. Smáčení je podmínkou pro vzlínání. Například kapalina která nesmáčí vlákna nemůže vzlínat do textilie. Jestliže se vlákna shromáždí s kapilárními mezerami mezi vlákny, jsou smočena kapalinou. Výsledné kapilární síly pohánějí kapalinu do kapilárních mezer v procesu vzlínání [8].

Harnett a Mehta [27] rozlišovali smáčení a vzlínání. Smáčení bylo definované jako chování mezi kapalinou a pevným povrchem a popisuje interakci mezi kapalinou a substrátem dříve než převezme místo vzlínání. Vzlínání bylo definované jako schopnost udržení toku kapilárou. Ve skutečných textilních procesech, může být vzlínání doprovázené dalšími fyzikálními úkazy, které jsou dělené na čtyři kategorie popisované níže [8].

Vzlínání můžeme rozdělit na několik typů

- Dle působení vnějších sil. Pokud na kapalinu při vzlínání nepůsobí vnější síly, jedná se o vzlínání samovolné. Opačně pokud na kapalinu při vzlínání působí vnější síly, pak jde o vzlínání nucené [10].
- Dle směru vedení kapaliny. Čelo kapaliny může při experimentu stoupat, neměnit svoji výšku nebo klesat [10].
- Dle objemu zásobníku kapaliny, ze kterého ke vzlínání dochází. Tento zásobník může mít nekonečně malý nebo konečně malý objem [10]. Mezi vzlínací procesy z nekonečného zásobníku patří imerze (ponoření), transplanární (příčné) vzlínání a podélné vzlínání. Vzlínání z omezeného zásobníku se vysvětluje pomocí kapky situované na povrchu textilie [11].
- Dle orientace vláken vůči směru pronikání kapaliny. Takovéto vzlínání lze rozdělit na podélné a kolmé [10].

4.1 Měření a hodnocení vztlínání

V zásadě se používají dvě základní metody pro hodnocení vztlínání

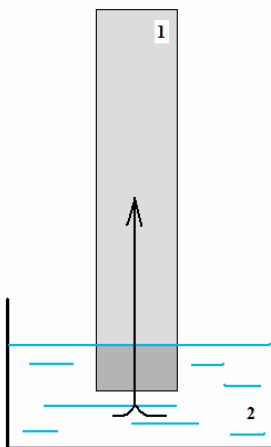
- sledování kapaliny v textilním útvaru (odečítání opticky nebo měření elektrických veličin)
- sledování hmotnostních změn vláknenné soustavy způsobených navzlínanou kapalinou.

Bylo prokázáno že principiálně jsou obě metody ekvivalentní. V řadě studií bylo použito speciálních postupů, které se šířeji neujaly. Příkladem může být aplikace laserového anemometru [11]. Ten může mít více systémů, měří i ve 3D a využívá různé barvy laserů. Jeho úkolem je změřit rozptyl světla, k čemuž jsou využívány dva detektory vyhodnocující rozdíl mezi jednotlivými fázemi a rychlost tekutiny. Při měření rychlosti tekutiny vyhodnocuje velikost a rychlost částic v suspenzi, např. částice spreje, což jsou vlastně kulové částice o velikost v řádech od μm po mm . Dále je schopný změřit koncentraci jednotlivých látek ve směsích tekutin, např. pro fluorescenční částice [38].

- **Proužkový test**

Velikost vzorku je 200 x 25 mm, doba testování 5 minut a hloubka ponoření textilie v zásobníku je 10 mm. Měřené parametry vztlínání jsou výška kapaliny vyvzlínané nad hladinu zásobníku H [mm], hmotnost kapaliny vyvzlínané nad hladinu zásobníku vztažená k hmotnosti proužku suché textilie [11].

Existuje řada variant tohoto testu, které se používají k hodnocení vztlínání do netextilních porézních soustav, jedna z nich je ukázána na *Obr.17* [11].



Obr.17: Proužkový test, 1-testovaná textilie, 2-zásobník [11].

- **Deskový test**

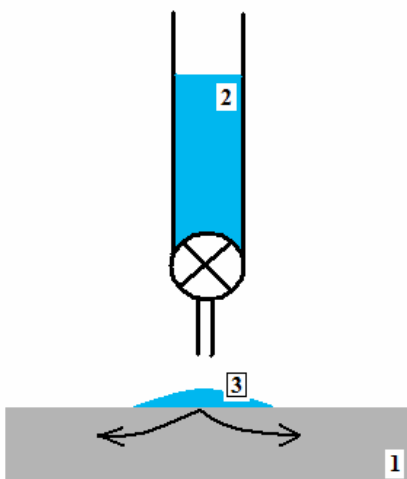
Průměr vzorku je 60mm, doba testování 60 minut nebo dokud se kapilární trubice nevyprázdní (platí kritérium, které nastane dříve) a kontaktní tlak deska/textilie 0,098 kPa. Měřené parametry vztlínání jsou průměrná rychlost transportu kapaliny do textilie v intervalu 10 minut nebo dokud se kapilární trubice nevyprázdní (platí kritérium, které nastane dříve) [11]. Schéma uspořádání při testu je na *Obr.18*.



Obr. 18: Deskový test, 1-spékaná (porézní) skleněná deska, 2-testovaná textilie, 3-závaží, 4-kapilární trubice [11].

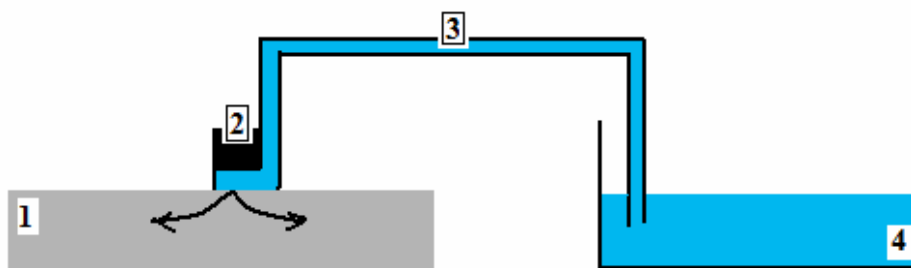
- **Skvrnový test**

Pro skvrnový test využíváme dvě různé varianty, a to variantu jedné kapky, viz. *Obr.19*, při které je průměr vzorku 60 mm, doba testování maximálně 5 minut a objem kapky 30 mm³. Měřeným parametrem je doba vsátí kapky do textilie [11].



Obr.19: Skvrnový test, varianta 1 kapky, 1-testovaná textilie, 2-zásobník, 3-kapka [11].

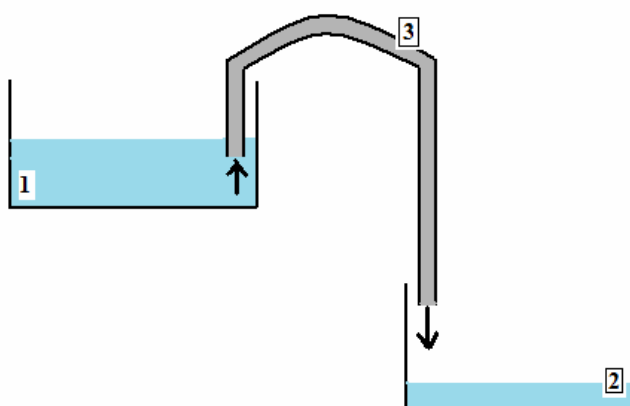
Druhou variantou je měření kontinuálního toku, viz. *Obr.20*, při které je průměr vzorku také 60 mm. Doba testování 5 minut nebo dokud smočená oblast nedosáhne okraje vzorku, při měření platí to kritérium, které nastane dříve. Kontaktní tlak mezi dávkovacím knotem a textilií 0,98 kPa a plocha kontaktu mezi knotem a textilií je 100 mm². Měřené parametry jsou průměrná rychlost zvětšování poloměru smočené oblasti S [mm/min] [11].



Obr.20: Skvrnový test, varianta kontinuálního toku, 1-testovaná textilie, 2-závaží, 3-knot, 4-zásobník [11].

• Sifonový test

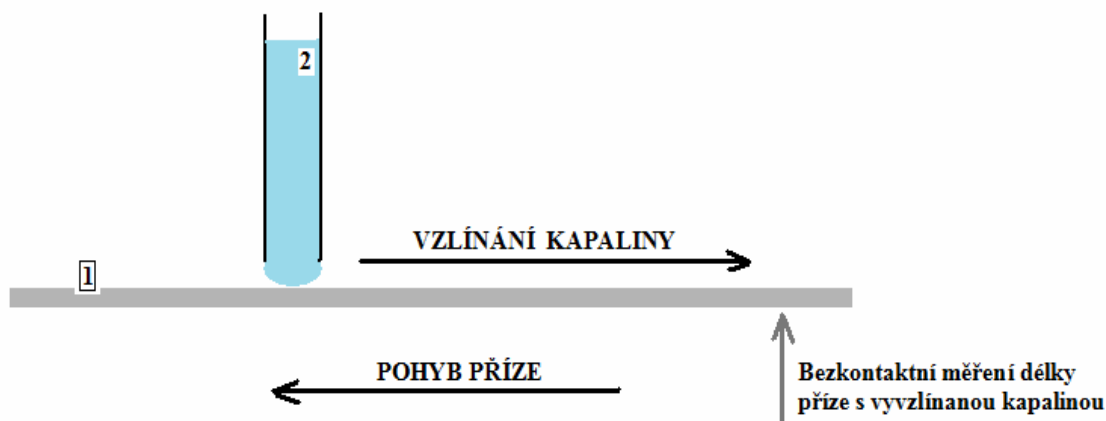
Velikost vzorku je 200 mm x 25 mm, doba testování je maximálně 5 minut a hloubka ponoření textilie v zásobníku 40 mm. Měřeným parametrem je doba do skápnutí první kapky do sběrné kádinky [11]. Schéma uspořádání při testu je na *Obr.21*.



Obr.21: Sifonový test, 1-zásobník, 2-sběrná kádinka, 3-testovaná textilie [11].

- **Dynamický test**

Vzorek je delší než úsek textilie, testuje se do ustavení dynamické rovnováhy a příze se pohybuje proti směru vztlínání kapaliny, viz. *Obr.22*. Měřeným parametrem je délka smočeného úseku textilie [mm], do kterého kapalina vyvzlínala při dané rychlosti a pohybu příze [11].



Obr.22: Dynamický test, 1-testovaná textilie, 2-zásobník [11].

4.2 Vztlínání na vlákenných útvarech

Vztlínání je spontánní proudění tekutiny v pórovité struktuře textilie řízené kapilárními tlaky, které jsou způsobené smočením textilie. Z toho vyplývá, že vztlínání je výsledkem smáčení kapilárního systému. Vzájemné působení mezi kapalinami a textilními vlákny se vyjadřuje pomocí jednoho či více fyzikálních jevů [9].

Vztlínání nastane jestliže je textilie úplně nebo částečně ponořena do kapaliny nebo je v kontaktu s určitým množstvím kapaliny, jako například kapka nanesená na textili. Poté může dojít ke kapilárnímu průniku kapaliny z nekonečného nebo omezeného zásobníku kapaliny [11].

U vlákenných svazků dochází ke vztlínání kapilárním transportem v pórech mezi vlákny. Platí že vztlínání souvisí jak s energetickými poměry mezi jednotlivými fázemi, tak i geometrií vlákenného svazku [7].

Aby byl proces spontánní, musí být získána volná energie a práce prostoupení musí být kladná [9].

$$W_P = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (28)$$

Prostup W_P je míra energie potřebná pro kapilární prostup [9].

4.2.1 Lucasův - Washburnův vztah

Přístup Lucase [28] a Washburna [29] je založen na silném zjednodušení mnohotvárné struktury vláknenné hmoty do podoby jediné kapiláry. Uvnitř kapiláry je kapalina transportována díky povrchovému napětí. Experimentální výsledky ukazují, že tento silně zjednodušený model dává kvalitativně srovnatelné výsledky s chováním textilií při transportu kapalin [5].

Lucas-Washburnův vztah je odvozen ze vztahů pro objem V newtonovské viskózní kapaliny o viskozitě μ , který proteče za čas t trubicí o poloměru r_k a délce h_t , mezi jejímiž konci je rozdíl tlaků $(p_1 - p_2)$. Tok dV/dt trubicí je dán vztahem odvozovaným v teorii kontinua [31], označovaným jako Hagenův - Poisseuilleův zákon

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi(p_1 - p_2)r_k^4}{8h_t\mu}. \quad (29)$$

V kapiláře vzniká tlak p_1 díky zakřivenému povrchu kapaliny s povrchovým napětím γ [5].

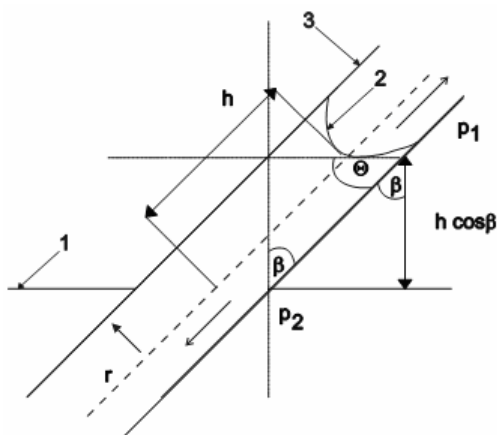
V případě, že meniskus kapaliny svírá se stěnou kapiláry úhel θ je p_1 dán výrazem

$$p_1 = \frac{2\pi r_k \gamma_l \cos \theta}{\pi r_k^2} = \frac{2\gamma_l \cos \theta}{r_k}. \quad (30)$$

Za meniskus kapaliny je označován její tvar v blízkosti styku se smáčeným objektem. Tlak p_2 v kapiláře ve výšce odpovídající okolní hladině kapaliny je hydrostatickým tlak

$$p_2 = \rho g h \cos \beta \quad (31)$$

Úhel β je ostrý úhel sevřený osou kapiláry a kolmicí k hladině, viz. Obr.23 [5].



Obr.23: Kapilára (3) vnořená do kapaliny s přirozenou hladinou (1) a meniskem uvnitř kapiláry (2) [5].

Objem kapaliny v kapiláře vystupující nad hladinu je vyjádřen jako

$$V = \pi r_k^2 h_t. \quad (32)$$

Z předcházejících vztahů vyplývá

$$\frac{\pi r_k^2 dh_t}{dt} = \frac{\pi r_k^4}{8\mu h_t} \left(\frac{2\gamma_l \cos \theta}{r_k} - \rho g h_t \cos \beta \right). \quad (33)$$

Rychlost postupu tekutiny při vztlínání v kapiláře lze odhadnout veličinou $\frac{dh_t}{dt}$,

která je vyjádřena z předchozí rovnice jako

$$\frac{dh_t}{dt} = \frac{r_k \gamma \cos \theta}{4\mu h_t} - \frac{r_k^2 \rho g \cos \beta}{8\mu}. \quad (34)$$

Ve vztahu (34) se předpokládá, že je kapilára dostatečně malá proto, aby si postupující kapalinový meniskus zachoval tvar kulového vrchlíku neporušeného gravitací. Malý průměr kapiláry zajistí rychlé vytvoření menisku při vnoření kapiláry do kapaliny [5].

Pro kapaliny podobné vodě jsou výše uvedené požadavky splněny pro kapiláry o poloměru menším než 0.3 mm. Přesná numerická analýza rychlosti formování menisku [32] ukázala, že k jeho vytvoření v takto tenkých kapilárách dochází ve zlomku vteřiny [5].

Dále je zanedbána gravitace $g = 0$, kapilára je horizontálně orientovaná ($\beta = 90^\circ$) a výška kapaliny v kapiláře je malá $h_t \rightarrow 0$ [5].

Odtud za podmínky $h_t = 0$ pro $t = 0$ vyplývá

$$h_t = \sqrt{\frac{r_k \gamma \cos \theta}{2\mu}} \equiv K t^{1/2} \quad (35)$$

kde

$$K = \sqrt{\frac{r_k \gamma \cos \theta}{2\mu}}. \quad (36)$$

tento vztah se používá k popisu pronikání kapalin do porézních prostředí. Prostředí se přitom modeluje jako soustava paralelních válcových kapilár [5].

Při kontaktu s kapalinou vlákna porézního textilního prostředí botnají a tím zmenšují poloměr pórů myšlených kapilár. Chatterjee v pracích [33,34] navrhl nahradit poloměr kapiláry r_k ve vztahu (34) výrazem r_w^2/r_k . Veličina r_w je redukovaný poloměr póru za postupujícím kapalinovým meniskem. Rozměry postupujícího kapalinového menisku jsou však stále určovány rozměry suché kapiláry r_k .

Další korekce vztahu (34) se týká zakřivené dráhy, kterou se kapalina v reálném porézním prostředí šíří. Proto je definován faktor T jako poměr skutečné délky kapalinového proudu h ku přímé dráze proudu kapaliny h_p ($h_p = h/T$) [5].

Dále je uveden vztah pro efektivní poloměr póru

$$r_e = \frac{r_w^2}{r_k T^2} \quad (37)$$

kde r_e je efektivní poloměr póru, r_w je redukovaný poloměr póru, r_k je rozměr suché kapiláry a T je faktor definovaný výše [5].

I přesto že je vnitřní struktura kompliková, což znamená nehomogenní anizotropní s otevřenými nekruhovými póry, jsou rovnice platné pro textilní materiály a pro trojrozměrné struktury vláknenné hmoty [5].

Vzhledem k tvaru rovnic lze rozpoznat tři faktory ovlivňující rychlost pronikání tekutiny do vláknenného prostředí. Jsou to:

- 1) vlastnosti kapaliny γ a μ ,
- 2) strukturální parametry porézního prostředí zjednoduš. popsané parametrem r_e ,
- 3) fyzikální interakce kapaliny a vláken projevující se v hodnotě úhlu smáčení θ [5].

Při vztlínání můžeme pozorovat různé fyzikální úkazy detailněji popsané níže

- Vztlínání kapaliny pracující pouze s průnikem kapilárou a ne s difúzí do vláknenného povrchu,
- vztlínání je doprovázené difúzí a pracuje s průnikem kapilárou a s difúzí do vláknenného povrchu,
- vztlínání doprovázené adsorpcí na vláknech a pracující s penetrací kapiláry a adsorpcí na vláknech,
- vztlínání zahrnující adsorpci a difúzi do vláken pracující s penetrací kapiláry a difúzí do vláknenného povrchu a adsorpcí na vláknech [8].

4.2.2 Vzlínání kapaliny do válcové kapiláry

Válcová kapilára je dutina ve tvaru válce s kruhovou podstavou, dostatečnou výškou a jejíž osa je svislá. Kapalina která se dostane do kontaktu s kapilárou, do ní samovolně proniká, dokud se neustaví rovnováha [11].

O sací výšce, do které kapalina vzlíná v nekonečném čase, rozhoduje rovnováha mezi silou gravitační F_G a silou vzlínání F_V , která je dána silovou rovnováhou mezipovrchových sil na rozhraní kapalina-plyn-pevná látka [11].

Gravitační síla F_G je funkcí sací výšky H . Pro válcovou kapiláru platí

$$F_G = m \cdot g_z = S_K \cdot H \cdot \rho \cdot g_z = \pi \cdot R_K^2 \cdot H \cdot \rho \cdot g_z \quad (38)$$

kde m je hmotnost [kg], g_z je gravitační zrychlení [9,81 m.s⁻²], S_K je plocha podstavy válcové kapiláry [m²], R_K je poloměr podstavy válcové kapiláry [m], H je sací výška [m] a ρ je hustota kapaliny [kg.m⁻³] [11].

Síla vzlínání F_V je na sací výšce nezávislá a je funkcí pouze geometrických a fyzikálně-chemických vlastností rozhraní kapalina-plyn-pevná látka. Pro válcovou kapiláru platí

$$F_V = O \cdot \gamma_{lg} \cdot \cos \theta = 2 \cdot \pi \cdot R_K \cdot \gamma_{lg} \cdot \cos \theta \quad (39)$$

kde O je obvod podstavy válcové kapiláry [m], γ_{lg} je mezipovrchové napětí mezi kapalinou a vzduchem [N.m⁻¹] a θ je úhel smáčení [-] [11].

Sací výška H lze vyjádřit na základě rovnováhy těchto dvou sil

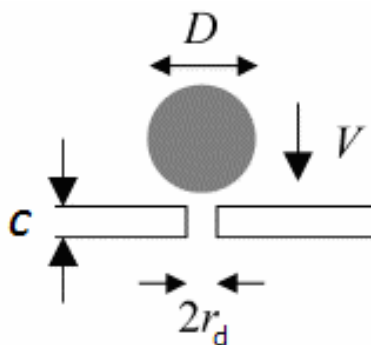
$$H = \frac{\gamma_{lg} \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g_z \cdot R_K} \quad (40)$$

Sací výška kapaliny v kapiláře tedy závisí na jejím poloměru, úhlu smáčení, povrchovém napětí kapaliny a na hustotě kapaliny [11].

5 Dopad kapek na síto

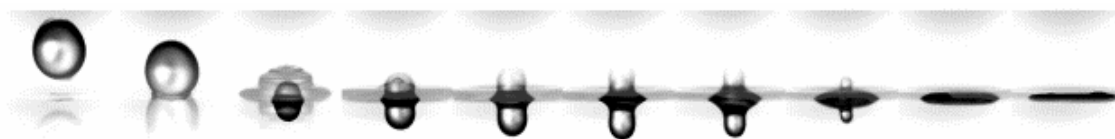
Kapkám narážejícím do síta se ve své práci věnuje Quéré [30]. Síto je simulováno destičkou probodanou dírami menšími než kapka. Kapka pomalu vsazená nebo hozená na díru v malé rychlosti neprojde díky povrchovému napětí, ale kapka která je hozená proti destičce ve větší rychlosti (kritická rychlost) buď projde nebo se odrazí. Tento proces lze pozorovat například při chytání aerosolů mřížkami nebo filtry (škodlivé emise kapalných aerosolů produkované chemickými závody) [30].

Kapka o průměru D volným pádem o rychlosti v naráží na děrovaný povrch z nerezové oceli o tloušťce c s velikostí děr $2r_d$, viz. Obr.24. Osa souměrnosti díry se shoduje s trajektorií kapky. Kapka musí být z tekutiny která smáčí pevnou látku [30].



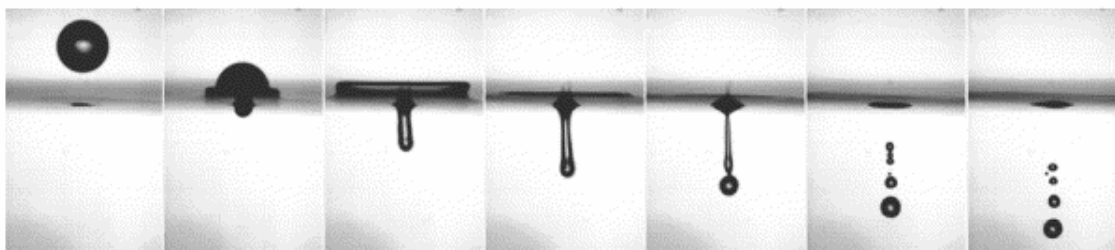
Obr.24: Kapka narážející na pevný povrch probodaný malými dírami [30].

Dopad kapky je snímán vysokorychlostní kamerou viz. Obr.25. Kapka má malou rychlost a tak je zcela chycena destičkou. Pod i nad destičkou je tvořen kapalný prst, který je v konečné fázi stažen zpět k destičce [30].



Obr.25: Sada obrázků snímáná po 2 ms, kapka je chycena destičkou [30].

Pro stejnou kapku narážející však ve větší rychlosti, je větší část tekutiny vyhozena pod díru a rozpadá se dle Rayleigh - Plateau nestability a zbytek zůstává zachycený v díře, jak je vidět na Obr.26 [30].



Obr.26: Sada obrázků snímáná po 2 ms, část kapky je zachycena a část prohozena [30].

5.1 Kritická rychlost

Při dopadu kapky na destičku začnou na kapku působit dvě protichůdné síly, na jedné straně viskózní tření a na druhé straně kapilární síly které obnovují tvorbu kapalného prstu. Reynoldsovo a Weberovo číslo se používá pro srovnávání setrvačnosti s viskozitou a vztlácností a pro výpočet kritické rychlosti [30].

$$Re = \frac{\rho \cdot v^* \cdot r_d}{\eta} \quad (41)$$

$$We = \frac{\rho \cdot v^{*2} \cdot r_d}{\omega} \quad (42)$$

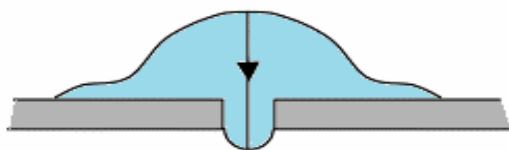
kde η je dynamická viskozita a ω je kinematická viskozita [30].

Při malém Re je viskózní síla dominantní a je zodpovědná za chycení kapky v destičce. V rozmezí $5 < Re < 100$ jsou na sobě viskózní a kapilární síly závislé. Při $Re > 100$ nezávisí kritická rychlost na viskozitě a je nastavena rovnováha mezi setrvačností a vztlácností, což je nazýváno kapilární interval [30].

$$Re \approx \frac{We}{We - 1} \quad (43)$$

Rovnice pro kritickou rychlost při průchodu destičkou, viz. Obr. 27, je dána rovnováhou mezi dynamickým a Laplaceovým tlakem

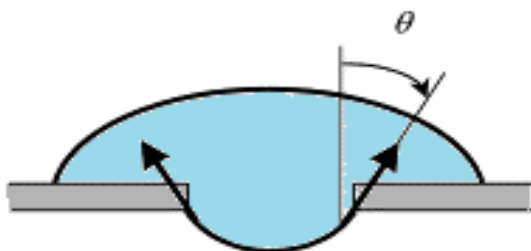
$$v^* = 2 \sqrt{\frac{\omega}{\rho \cdot r_d}} \quad (44)$$



Obr.27: Zdeformování kapky vlivem působících tlaků [30].

5.2 Formování prstu

Povrchové síly na začátku formování prstu táhnou kapalinu jak svislým tak i horizontálním směrem, viz. *Obr. 28* [30].



Obr.28: Utváření prstu, šipka ukazuje směr kapilární síly [30].

5.3 Chování nad kritickou rychlostí

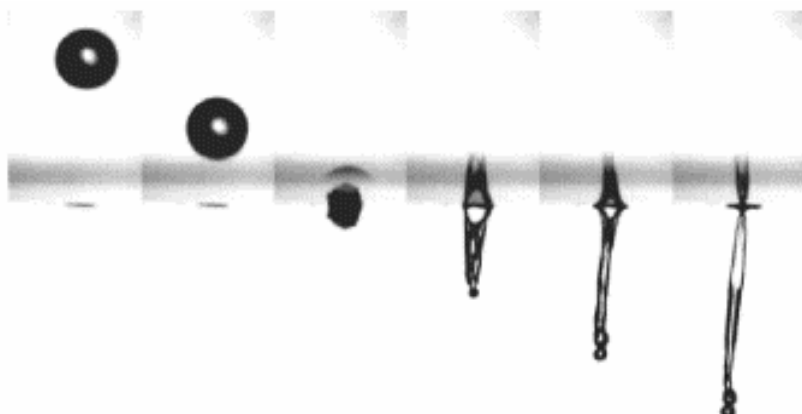
Kapka se při překročení kritické rychlosti dopadu chová dle Rayleigh-Plateau nestability. Při dopadu záleží především na poloměru díry a ne tolik na čase a rychlosti dopadu. Čas ustálení kapky v díře se dá spočítat dle vztahu [30]

$$t_r \approx \sqrt{\frac{\rho \cdot r^3}{\omega}} \quad (45)$$

Dále lze spočítat délku prstu vytvořeného pod destičkou, i přesto že se tento prst mírně zkroutí, viz. *Obr. 29*

$$L = \int_0^{t_r} v_j dt \approx v_j \cdot t_r \quad (46)$$

kde v_j je rychlost vytrysknutí kapky [30].



Obr. 29: Ukázka zkrouceného prstu vysokorychlostní kapky vyhozené pod destičku [30].

Lze přibližně spočítat i počet kapek vyhozených pod povrch

$$N \approx \frac{L}{2\pi r} + 1 \quad (47)$$

$$N \approx \frac{4v}{2\pi v^*} + 1 \quad (48)$$

a dokonce je možné spočítat i objem vyhozených kapek

$$\Omega \approx r^2 \cdot v \sqrt{\frac{\rho \cdot r^3}{\omega}} \quad (49)$$

tento vztah je ale citlivý na poloměr díry

$$\Omega \approx \left(\frac{v}{v^*} \right) \cdot r^3 \quad (50)$$

Experimentálně bylo zjištěno, že typicky bývá chyceno 80% objemu kapky. Po vyhození kapky pod povrch dojde k jejímu mírnému zpomalení a to kvůli času potřebnému pro vytvoření menisku, nad dříve vytvořenou kapkou, který brání oddělení kapky. Dále z provedených experimentů vyplynulo že s vyšší viskozitou kapaliny roste rychlost vyhození kapky z díry [30].

6 Nanovlákná

Nanovlákná jsou polymerní vlákna s průměry v rozmezí 10 až 1000 nanometrů. Tyto vlákna představují nový typ materiálů s extrémními hodnotami některých vlastností. Typickými oblastmi použití vrstev polymerních vláken jsou filtrace plynů a kapalin, bariérové materiály pro zachycení submikronových částic, bakterií a chemikálií, kde se dosahuje velmi vysokých filtračních účinků. Nanovlákná se používají jako bariérové separátory, výztuže kompozitů a jako nosiče léčiv a tkáňových implantátů v lékařství. Velký měrný povrch vrstvy nanovláken, který je snadno přístupný pro plynná a kapalná média dává předpoklady pro jejich zvláštní sorpční vlastnosti i pro jejich využití jako nosičů různých aktivních látek, například katalyzátorů. Extrémně malé póry ve vrstvách z nanovláken jsou předpokladem extrémních tepelně izolačních vlastností [36].

Nanovlákná se připravují ze široké škály polymerů, polymerních směsí a ze směsí polymerů s nízkomolekulárními aditivy procesy formování polymerních roztoků. Na rozdíl od principiálně podobných procesů formování polymerních tavenin se při zpracování roztoků dosahuje menších průměrů vláken díky nižším viskozitám roztoků [36].

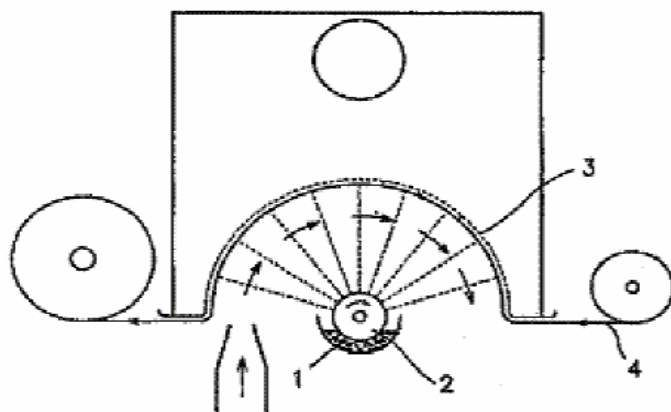
K formování roztoků se využívá mechanických sil proudícího plynného média nebo coulombovských sil v elektrostatickém poli. Elektrostatické zvlákňování přitom vede k vláknům s menšími průměry, protože jednotlivá tvořící se vlákna jsou vlivem distribuce shodných nábojů v jejich objemu štěpena na několik fibril [36].

V případě formování nanovláken mechanickými silami závisí průměr vytvořených nanovláken mimo jiné na poměru hmot vzduchu a roztoku polymeru protékajících zvlákňovací tryskou. Při formování coulombovskou silou v elektrostatickém poli se musí u ústí zvlákňovací trysky vytvořit tzv. Taylorův kužel, jehož existence je podmínkou vzniku vláken a je podmíněna poměrně úzkým rozmezím poměru rychlosti výtoku roztoku polymeru ze zvlákňovací trysky k intenzitě elektrického pole. Zvlákňování pomocí trysek je z pohledu průmyslového využití velmi problematické [36].

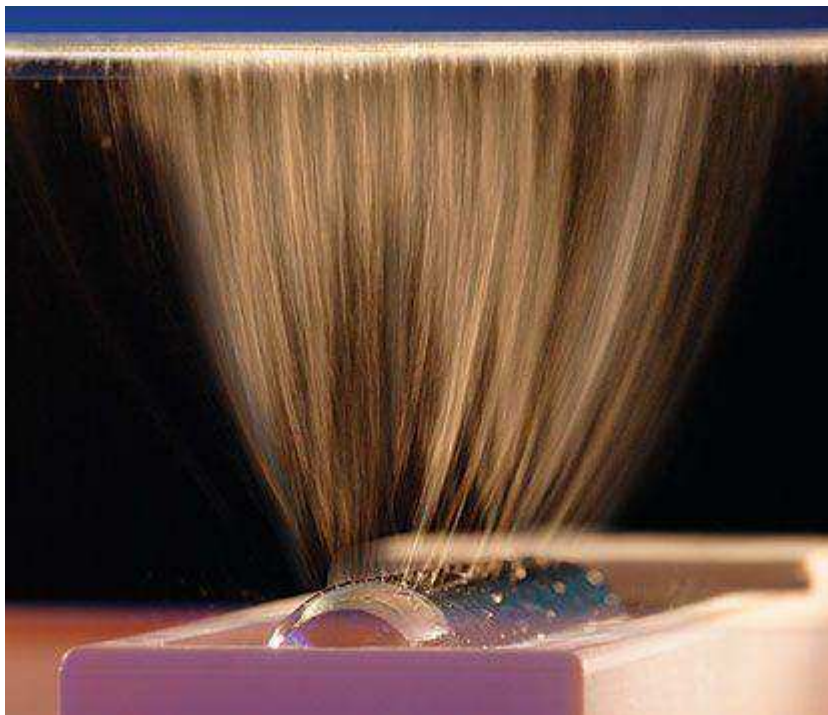
V průmyslové praxi bylo využito patentu CZ 294274 B6 Technické univerzity v Liberci. Tento patent se zabývá způsobem výroby nanovláken z polymerního roztoku elektrostatickým zvlákňováním a zařízením k provádění způsobu [36].

Podstata vynálezu spočívá v tom, že polymerní roztok se do elektrického pole pro zvlákňování přivádí povrchem otáčející se nabité elektrody, přičemž se na části obvodu nabité elektrody, která je přivrácena k protielektrodě, vytvoří zvlákňovací plocha. Roztok polymeru je za příznivých okolností schopen vytvářet v elektrickém poli Taylorovy kužely nejen při výtoku ze zvlákňovací trysky, ale i na povrchu své hladiny, zvláště výhodně pak v tenké vrstvě na povrchu rotujícího tělesa zčásti se vnořujícího do nádoby s tímto roztokem. Zmíněnými příznivými okolnostmi jsou přitom vhodná viskozita roztoku daná molekulovou hmotností polymeru, jeho koncentrací a teplotou, vhodné povrchové napětí dané typem polymeru a přítomností povrchově aktivní látky a vhodná hodnota elektrické vodivosti roztoku, dosažitelná přítomností nízkomolekulárního elektrolytu. Velikost zvlákňovací plochy je přitom úměrná rozměrům a tvaru nabité elektrody a protielektródy. Množství vznikajících nanovláken je tedy úměrné velikosti a tvaru zvlákňovací plochy [36].

Princip zvlákňování z tenké vrstvy roztoku podle patentu Technické univerzity v Liberci je schématicky znázorněn na *Obr.30*. Průmyslové využití patentu nazvané nanospider je na *Obr.31*.



Obr.30: Princip zvlákňování z tenké vrstvy roztoku, 1-polymerní roztok, 2-otáčející se nabitá elektroda, 3-protielektroda, 4-nosný materiál nanovláknenné vrstvy [36].



Obr. 31: Ukázka nanospideru [21].

7 Mikroskopy používané pro pozorování vláknenných vrstev

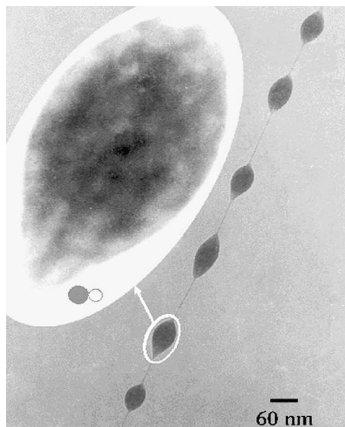
Pro každou vláknennou vrstvu je vhodný jiný typ mikroskopu. Nejčastěji používaným mikroskopem pro pozorování nanovláknenných vrstev je skenovací elektronový mikroskop. Jeho nevýhodou je ale nutnost předem upravit nanovláknennou vrstvu pokovením a to kvůli ochraně vláken před spálením paprsky mikroskopu. Fluorescenční mikroskopie poskytuje kvalitní snímky i v černobílé oblasti, pro nanvrstvy je nevhodná, ale své uplatnění najde při pozorování spun-bondových vrstev. U spun-bondových vrstev používaných při experimentu totiž není třeba vlákna ochraňovat pokovením, protože vlákna mají větší průměry a díky tomu odolávají světelným paprskům mikroskopu. Pro obě vláknenné vrstvy by bylo možné použít enviromentální skenovací elektronový mikroskop, ten ale není ve vlastnictví Technické univerzity v Liberci a jeho pronájem je časově i finančně náročný [16, 19, 44, 45].

- **Skenovací tunelový mikroskop (STM)**

Její teoretický popis je založen na kvantové fyzice, konkrétně na tunelovém jevu. Je to jedna z mála metod, která je schopna poskytnout až atomární rozlišení, přičemž je zároveň jednoduchá. Oproti ostatním metodám, jako je například transmisní elektronová mikroskopie, nevyžaduje náročnou přípravu vzorku, ale poskytuje jen informace o povrchu. Její nevýhodou je, že neposkytuje okamžitý a vizuální obraz, ale snímání je postupné a je nutno pro zobrazení využít počítače. Historie metod v blízkém poli sahá do roku 1928, kdy Synge poprvé zavedl princip skenování ostrým skleněným hrotem velmi blízko hrotu. Tehdejší stav technologií však neumožňoval realizaci měření. První přístroj z této kategorie začal pracovat roku 1972, když R. Young sestrojil svůj Topografiner, zařízení schopné mapování povrchu ve vzdálenosti 100 nm. Atomárního rozlišení však zde nebylo dosaženo z důvodu značné nestability vzdálenosti hrotu od povrchu [15].

- **Transmisní elektronová mikroskopie (TEM)**

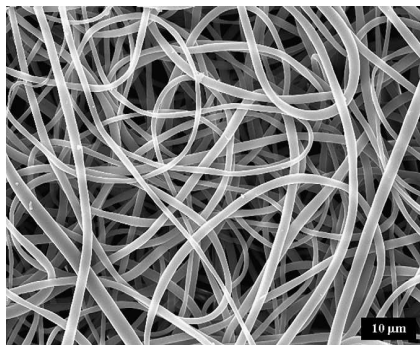
Umožňuje zobrazit mikrostrukturu uvnitř materiálu v měřítku od několika mikronů až po atomové rozlišení, pomocí elektronové difrakce určit symetrii krystalové mřížky a pokud je mikroskop vybaven příslušnými spektrometry, provést navíc lokální analýzu chemického složení. Se zdokonalováním konstrukce a řízení mikroskopu byly vyvinuty i nové experimentální techniky. Mezi nejzajímavější jistě patří mikroskopie s atomovým rozlišením či elektronová holografie [20].



Obr. 32: Obraz nanovláken s "korálemi" pořízený TEM [14].

- **Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)**

Pozorování povrchu preparátu pouze odvodněného a většinou pokoveného (zlato). K zobrazení používá rastrovací paprsek elektronů (asi 1 nm silný), který postupně bod po bodu dopadá na povrch preparátu. Vznikající signál ze sekundárních elektronů slouží ke složení výsledného obrazu. Maximální zvětšení je přibližně 200 000 x, užitečné zvětšení se však pohybuje okolo 15 000 až 50 000 x. Nejčastěji se používá zvětšení 10 000 x. Rastruje se po 2-5 nm [16].



Obr. 33: Obraz netkané textilie, tvořené nanovlákný z polyetyténtereftalátu, ze skenovacího elektronového mikroskopu. Průměr vláken se pohybuje v rozmezí od 2 do 6 nanometrů [14].

- **Fluorescenční mikroskopie**

Výbojky používané pro fluorescenční mikroskopii vydávají velké množství energie svého záření v ultrafialové oblasti. Jejich světlo je poměrně stabilní, výbojky vydrží zářit asi 500 pracovních hodin. Zažehávají se však vysokonapěťovými pulsy, je proto potřeba zapínat je dříve než ostatní elektronické přístroje v aparatuře [44].

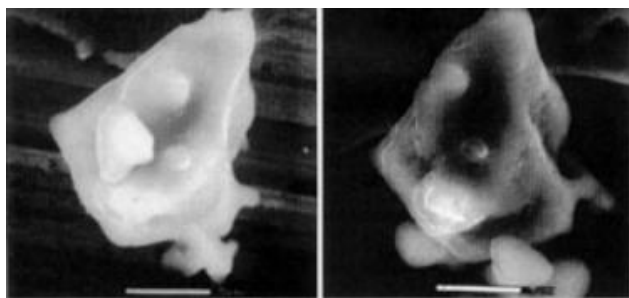
Fluorescenční mikroskopie používá většinou zesilovačů obrazu nebo chlazených CCD kamer, tzv. zesílená fluorescenční mikroskopie, IFM - Intenzified Fluorescence Microscopy. Použití takových detektorů je nezbytné ve většině biologických vzorků, neboť intenzita jejich fluorescence nebývá postačující pro obyčejné videokamery. Musí se proto kombinovat s počítačovým zpracováním obrazu (videomikroskopie). Při IFM lze snižovat intenzitu buzení oproti intenzitě potřebné pro obyčejné vizuální pozorování, čímž lze úspěšně potlačit nežádoucí vybělování fluorescence [44].

- **Environmentální skenovací elektronová mikroskopie (ESEM)**

Prohlížení vzorků je možné bez pokovení s připouštěním inertního plynu nebo vody (přirozené prostředí v preparátové komoře) [16]. ESEM dovoluje zobrazování mokrých systémů bez jakékoliv dřívější přípravy vzorku. Prostředí vzorku může být dynamicky měněno a v komoře se vzorkem mohou být pozorovány procesy hydratování a odvodňování [19].

Při pozorování je používán systém s diferenciálním čerpadlem, díky kterému může být elektronovou tryskou udržováno vysoké vakuum zatímco v komoře se vzorkem bývá zachován konstantní tlak 10-20 torr ($1 \text{ torr} \approx 133 \text{ N.m}^{-2}$). ESEM je schopný pracovat při teplotách vyšších než 1000 °C. Sondovací signál umožňuje kvalitní rozlišení menší než 5 nm [19].

ESEM je také citlivý na elektronickou strukturu materiálu a to díky tomu že není potřeba vzorek povrstvovat zlatem [19].



Obr.35: Ukázka hydratace materiálu zachycená ESEM [19].

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1 Výroba a definování vlastností vzorků

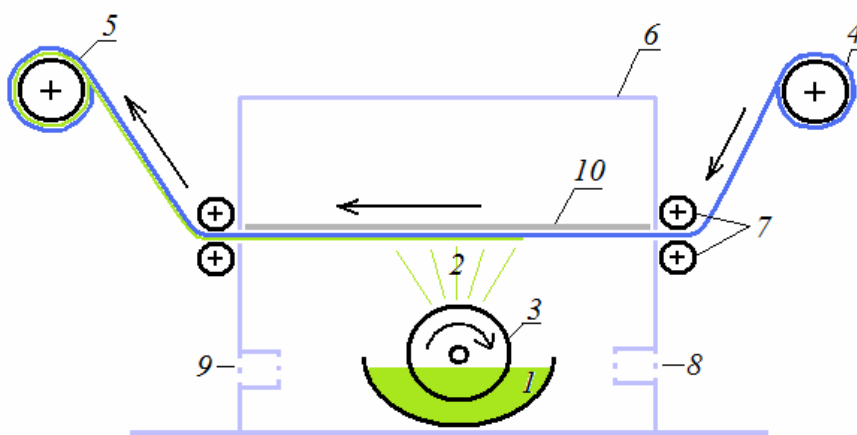
K dispozici byly již dříve připravené materiály.

1. Spun-bondová polypropylenová nesmáčivá textlie o plošné hmotnosti 20 g/m².
2. Spun-bondová polypropylenová textlie se smáčivou úpravou o plošné hmotnosti 20 g/m².

Na nesmáčivou spun-bondovou textilií o plošné hmotnosti 20 g/m² byla na laboratorním zvlákňovacím přístroji, schématicky ukázaném na *Obr.36*, nanесena zvlákňená vrstva polyuretanových nanovláken. Složení zvlákňovacího roztoku bylo larithane (polyesteruretan) 30% DMF 110g, 50 g DMF, 55 g TEAB a 5g vody [41].

Zvlákňování probíhalo při teplotě 21,6° C a relativní vlhkosti 19,5%. Zvlákňovací roztok i nanесená vláknenná vrstva jsou znázorněny na *Obr.36* zelenou barvou, ve skutečnosti ale mají nanovláknena barvu bílou.

Pro výrobu dalších čtyř vzorků byl do zvlákňovací roztoku přidán Slovasol (neionogenní dispergační tenzid na bázi alkylpolyglykoetheru), což je povrchově aktivní látka. Zvlákňování vrstev s povrchově aktivní látkou probíhalo při teplotě 22° C a relativní vlhkosti 20% [42].



Obr.36: Ukázka laboratorního zvlákňovacího přístroje, 1-zvlákňovací roztok, 2-vytvářená nanovláknena, 3-otáčející se nabitá elektroda, 4-nosná textlie, 5-nosná textlie s vrstvou nanovláken, 6-zakrytování, 7-naváděcí válečky, 8-přívod vzduchu, 9-odvod vzduchu, 10-protielektroda .

Vzdálenost otáčející se nabitě elektrody od protielektrody byla 135 mm a napětí na elektrodě 80 kV pro všechny vyráběné vrstvy.

Při různé rychlosti odtahu spun-bondové textilie docházelo k nanášení různé silné vrstvy nanovláken. Rychlost odtahu nosné textilie se měnila v rozsahu od 0,2 do 0,8 m/min. Přičemž nejmenší rychlost znamenala největší nanosenou vrstvu nanovláken a nejvyšší rychlost nejmenší vrstvu nanosených nanovláken.

U vyrobených spun-bondových textilií s nanovláčennou vrstvou bylo dále nutné určit plošnou hmotnost. 10 vzorků z dané textilie o rozměru 50x50 cm bylo zváženo na laboratorních vahách s přesností na tři desetinná místa. Hodnoty byly následně přepočítány na m^2 , zprůměrovány a zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

Z vypočítaných hodnot vyplývají níže uvedené plošné hmotnosti pro nanovláčenné vrstvy z polyuretanových vláken.

3. K odtahové rychlosti 0,2 m/min náleží plošná hmotnost $23,2 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy $3,2 \text{ g/m}^2$,
4. k odtahové rychlosti 0,4 m/min náleží plošná hmotnost $21,6 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy $1,6 \text{ g/m}^2$,
5. k odtahové rychlosti 0,6 m/min náleží plošná hmotnost $20,8 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy $0,8 \text{ g/m}^2$,
6. k odtahové rychlosti 0,8 m/min náleží plošná hmotnost $20,4 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy $0,4 \text{ g/m}^2$.

Dále jsou uvedeny plošné hmotnosti pro nanovláčenné vrstvy z polyuretanových vláken s povrchově aktivní látkou Slovasol.

7. K odtahové rychlosti 0,2 m/min náleží plošná hmotnost $23,2 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy s povrchově aktivní látkou $3,2 \text{ g/m}^2$,
8. k odtahové rychlosti 0,4 m/min náleží plošná hmotnost $21,6 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy s povrchově aktivní látkou $1,6 \text{ g/m}^2$,
9. k odtahové rychlosti 0,6 m/min náleží plošná hmotnost $20,8 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy s povrchově aktivní látkou $0,8 \text{ g/m}^2$,
10. k odtahové rychlosti 0,8 m/min náleží plošná hmotnost $20,4 \text{ g/m}^2$, což odpovídá plošné hmotnosti nanovláčenné vrstvy s povrchově aktivní látkou $0,4 \text{ g/m}^2$.

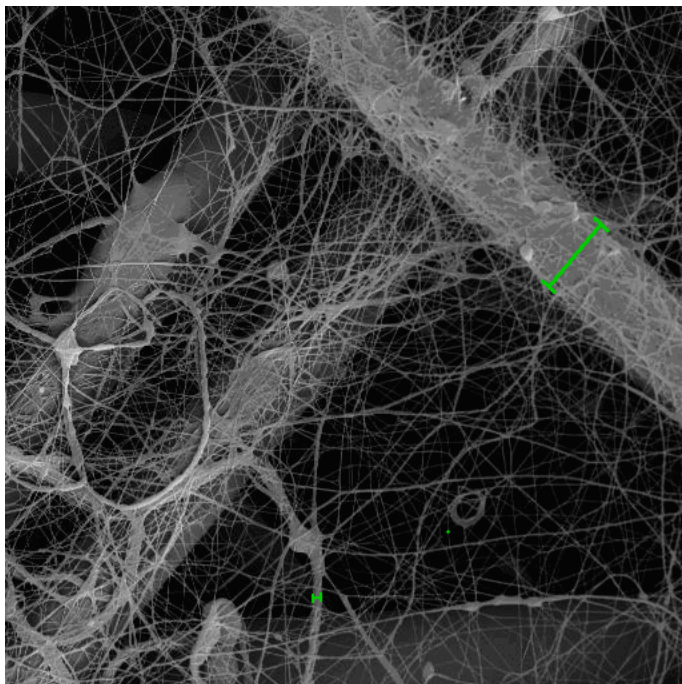
Pro následující experimenty tedy bylo dále používáno 10 různých vzorků textilií detailněji popsanych výše. V rámci zjednodušení popisu experimentu budou vzorky dále v textu popisovány příslušnými čísly.

U textilií s nanovrstvou bylo potřeba definovat ještě průměr vláken a velikost pórů. Průměr vláken byl proměřen v programu obrazové analýzy NIS ELEMENTS, jak je ukázáno na *Obr.37*. Zeleně jsou na tomto obrázku, pořízeného pomocí skenovacího elektronového mikroskopu, označeny průměry u tří vláken, které se významně liší právě svým průměrem. Velký průměr mají vlákna na nosné spun-bondové textilií, malý průměr pak mají nanovláknena vyrobená na laboratorním zvlákňovacím přístroji, popsáném výše.

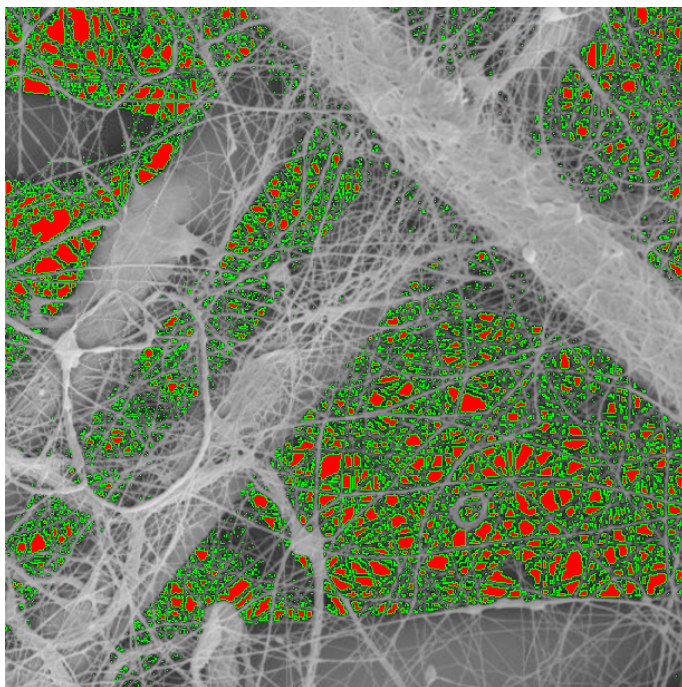
V *Příloze 2* je v grafech na obrázcích *Obr.1*, *Obr.3*, *Obr.5* a *Obr.7* uvedeno rozložení průměrů vláken na používaných vzorcích č.3 až č.10. Pro srovnání je pro každý graf ukázán snímek nanovláknenné vrstvy vytvořený pomocí skenovacího elektronového mikroskopu a to na *Obr.2*, *Obr.4*, *Obr.6* a *Obr.8*.

Kvůli srovnání průměrů vláken ale i velikostí pórů mezi vlákny byly vytvořeny snímky i pro vzorek č.1 a č.2. K vytvoření těchto snímků není třeba používat skenovací elektronový mikroskop, u něhož je pro nanovláknenné vrstvy nutné upravení vzorku odvodněním a pokovením. Pro vzorek č.1 a č.2 byl použit mikroskop Nikon Eclipse 80i, což je fluorescenční mikroskop, ke kterému byla připojena rychlá CCD kamera o vysoké citlivosti v černobílé oblasti určená pro nízké intenzity fluorescence vzorků a kvantitativní analýzy obrazu [43].

V *Příloze 2* jsou na *Obr.10* a *Obr.12* ukázány snímky vzorků č.1 a č.2 pořízené pomocí fluorescenčního mikroskopu. Dále je na *Obr.9* a *Obr.11* uvedeno rozložení průměrů vláken na již zmíněných vzorcích.



Obr.37: Ukázka proměření průměru tří vláken na vzorku č.6 v programu obrazové analýzy.



Obr.38: Ukázka proměření pórů mezi vlákny na vzorku č.6 v programu obrazové analýzy.

Velikost pórů byla měřena ve stejném programu, ukázka je na *Obr.38* na předcházející stránce, póry jsou ohraničené zelenou a vyplněné červenou barvou. Z velikosti pórů bylo následně vypočítáno zaplnění podle vztahu (52) odvozeného od Neckáře [41]. Porózita vyjadřuje podíl objemu vláknenného útvaru vyplněného vzduchem. Vláknenný útvar má celkový objem V_c , vlákna v něm mají objem V . Objem vzduchu, přesněji objem mezivláknenných prostorů, je $V_c - V$. Porózita je pak definována vztahem

$$\psi = \frac{V_c - V}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu \quad (51)$$

kde μ je zaplnění [41].

V programu obrazové analýzy byly naměřeny plochy a nikoliv objemy pórů. Po menší úpravě, protože plocha vláken není pro následující experiment důležitá, vychází vztah

$$\psi = \frac{Sp}{Sc} \cdot 100 \quad (52)$$

kde Sp je suma ploch jednotlivých pórů a Sc je celková měřená plocha.

Hodnoty průměrů vláken i velikostí pórů jsou uvedeny vždy pro dva vzorky proto, že výroba těchto vzorků probíhala za srovnatelných podmínek a také proto, že vzorky se Slovasolem byly vyrobeny později a nemohlo u nich být provedeno proměření z důvodu dlouhodobě rozbitého skenovací elektronového mikroskopu.

Proměření vzorků v programu obrazové analýzy a jejich následným vyhodnocením, vychází že

- pro vzorek č.1 je zaplnění 22,6 %,
- pro vzorek č.2 je zaplnění 23,2 %,
- pro vzorek č.3 a č.7 je zaplnění 34,5 %,
- pro vzorek č.4 a č.8 je zaplnění 30,0 %,
- pro vzorek č.5 a č.9 je zaplnění 27,4 %,
- pro vzorek č.6 a č.10 je zaplnění 24,8 %.

Pro následující experiment je důležité vědět na jak velké póry dopadá kapka

- pro vzorek č.1 je průměrná velikost pórů $3,17 \mu\text{m}^2$,
- pro vzorek č.2 je průměrná velikost póru $2,93 \mu\text{m}^2$,

pro vzorek č.3 a č.7 je průměrná velikost póru $0,26 \mu\text{m}^2$,

pro vzorek č.4 a č.8 je průměrná velikost póru $0,61 \mu\text{m}^2$,

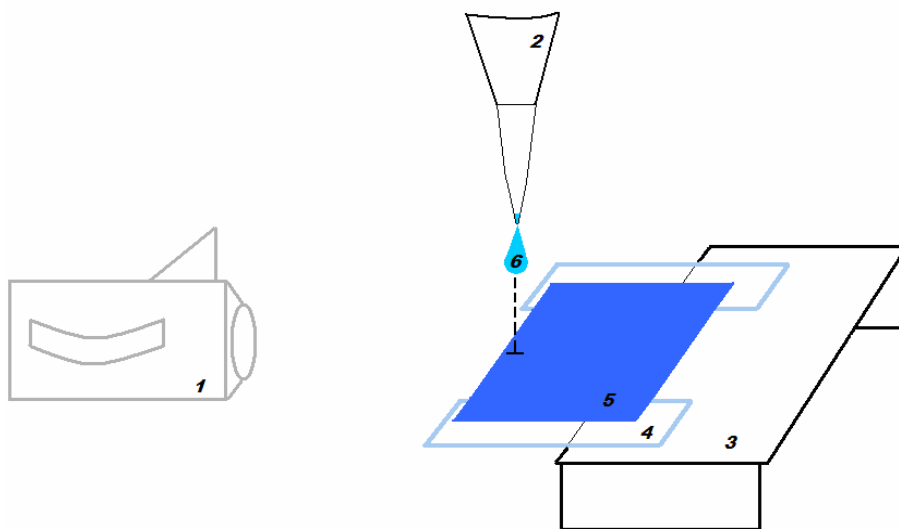
pro vzorek č.5 a č.9 je průměrná velikost póru $1,41 \mu\text{m}^2$,

pro vzorek č.6 a č.10 je průměrná velikost póru $1,52 \mu\text{m}^2$.

2 Experiment s dopadem kapky na textilii

Pro záznam experimentu byla použita vysokorychlostní kamera Panasonic SDR-H50, která byla umístěná kolmo ke zkoušené textilii, jak je zobrazeno na Obr.39. Kamera byla vzdálena od okraje textilie přibližně 20 cm a byla zaostřena na místo předpokládaného dopadu kapky. Na textilii byla z mikropipety pouštěna kapka o objemu $3 \mu\text{l}$ a kamerou byl zachycen její dopad na textilii. Mikropipeta byla umístěna ve třech různých výškách a to 15, 75 a 150 mm. Se změnou výšky, ze které byly pouštěny kapky, se mění i rychlost dopadu kapky.

Textilie byla vypnuta mezi dvě sklíčka a to proto, aby kapka dopadala na rovný povrch textilie. Dopad kapky byl situován do kraje textilie, jak je znázorněno čárkovanou čarou na Obr.39, pro snazší a nezkreslené odečtení rozměrů kapky z následně vytvořených fotografií. Vzorek textilie byl po natočení dopadu kapky vždy vyměněn, aby výchozí parametry textilie, především její vlhkost, byly pro každé natáčení stejné. Natáčení probíhalo za běžných pokojových podmínek, tedy 21°C a relativní vlhkost 50%.

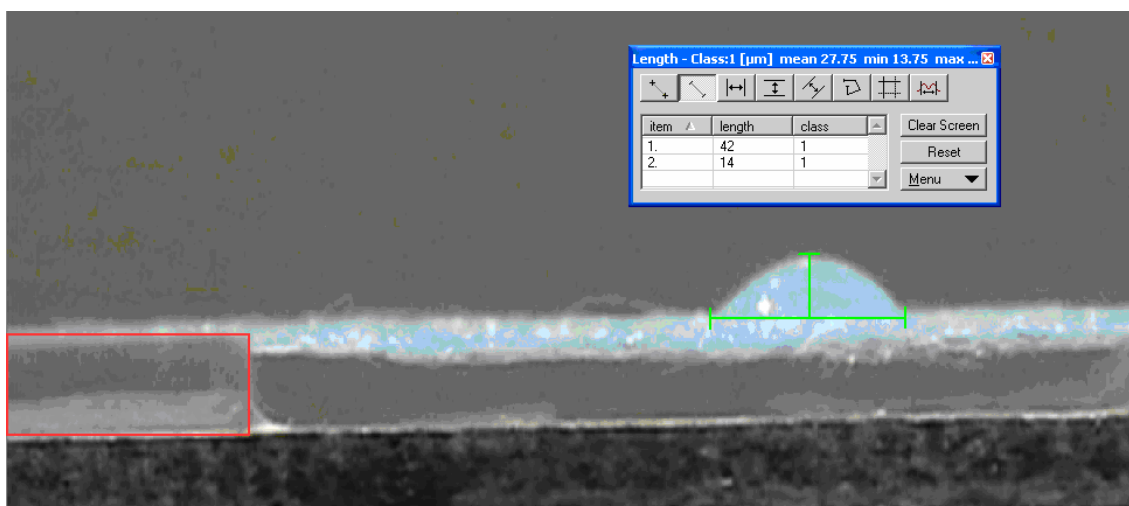


Obr.39: Schéma zobrazující sestavu pro experiment, 1-digitální kamera, 2-mikropipeta, 3-stolek, 4-sklíčka, 5-textilie, 6-kapka.

Po natočení průběhů dopadů 10 kapek na vzorek textilie se stejnou plošnou hmotností a se stejnou vzdáleností mikropipety, byly vybrány 3 nejlépe zřetelná videa dopadů kapek. Z videí byly pomocí programu Windows Movie Maker vybrány po nejmenším možném časovém úseku 0,08s série fotografií.

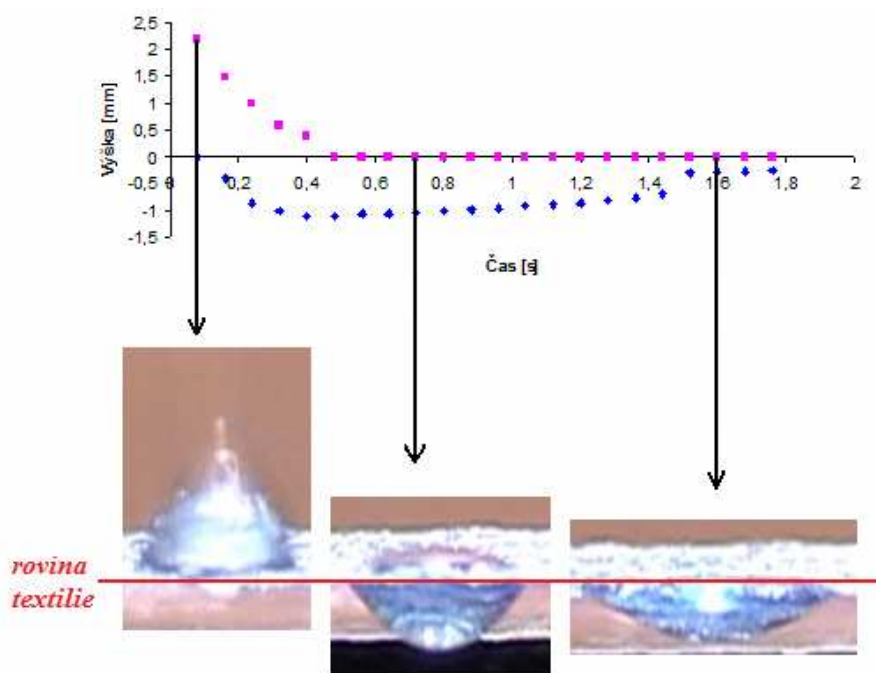
Z fotografií, na kterých docházelo ke změně výšky nebo šířky kapky, byly následně odměřeny, pomocí obrazové analýzy v programu Lucia G hodnoty, jak je zvýrazněno na *Obr.40* zelenými kótami. Hodnoty z opakovaných dopadů na stejnou textilií a se stejnou vzdáleností mikropipety byly zprůměrovány a zpracovány do přehledných grafů uvedených dále. Ukázka grafu s názorným porovnáním s fotografiemi je na *Obr.41*.

Naměřené bezrozměrné hodnoty byly přepočítány na skutečné pomocí porovnání tloušťky sklíčka na fotografii a ve skutečnosti, která je 1mm. Sklíčko je zvýrazněno na *Obr.40* červenou linkou.



Obr.40: Ukázka přeměření kapky pomocí obrazové analýzy.

Na *Obr.41* jsou neobvykle pro jednu hodnotu x, která udává čas, přiřazeny dvě různé hodnoty y. Tato nesrovnalost vzniká z důvodu toho, že textilie je považována za nulovou osu a od ní jsou měřeny hodnoty v kladném i záporném směru. Jednotlivé body grafu nelze propojit křivkou funkce, protože kvůli výše uvedené nesrovnalosti, nemá vývoj dopadu kapky charakter funkce. Udání pouze jedné hodnoty výšky kapky by nepopisovalo skutečnost. Hodnoty výšky kapky tak musí být chápány jako velikosti, tedy jako absolutní hodnoty.



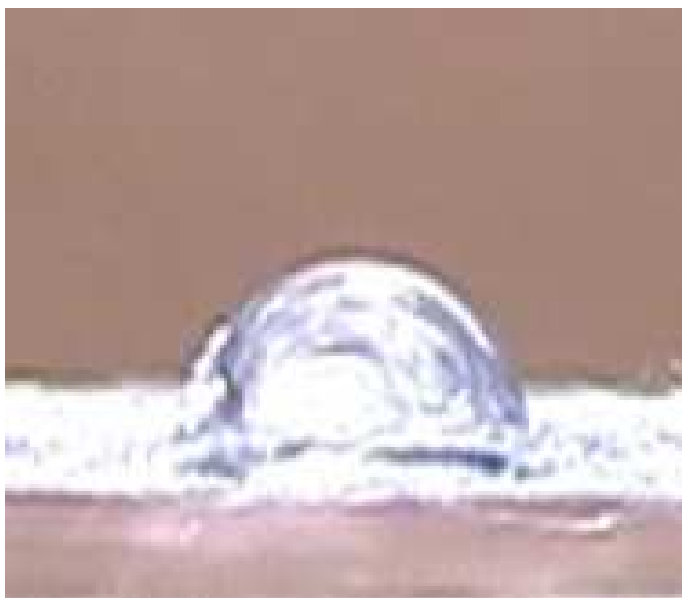
Obr.41: Ukázka změny výšky kapky na smáčivé textilii, plošná hmotnost 20 g/m², vzdálenost pipety 15 mm.

2.1 Vyhodnocení experimentu s dopadem kapky na textilii

Výška a šířka kapky se nejvíce liší především mezi nesmáčivou a smáčivou textilii. Nanovláknenné vrstvy bez povrchově aktivní látky se chovají velmi podobně. Rozdílné chování však bylo pozorováno u vrstev s povrchově aktivní látkou. Tato tvrzení dokazují grafy na obrázcích, které jsou uvedeny v Příloze 1.

V Příloze 1 jsou v grafech na obrázcích Obr.1 až Obr.10 uvedeny závislosti výšky kapky, pod i nad textilii, na čase. Dále jsou v této příloze na obrázcích Obr.11 až Obr.20 uvedeny závislosti šířky kapky na čase. V grafech jsou znázorněny a porovnány hodnoty, naměřené pro tři různé výšky pipety. Porovnány jsou i šířky kapky, naměřené pro různé vrstvy nanovláken, vždy pro jednu konkrétní vzdálenost pipety, tyto grafy jsou na Obr.21 až Obr.26.

U většiny vzorků, ať už se jedná o textilii nesmáčivou nebo nesmáčivou s různě upravenou nanovrstvou, při různých vzdálenostech pipety, dochází k zadržení kapky již na povrchu textilie. Kapka se velmi rychle ustálí, v rozmezí jedné až dvou sekund, ve více nebo méně protáhlém tvaru, jak je ukázáno na *Obr.42* a *Obr.43*.



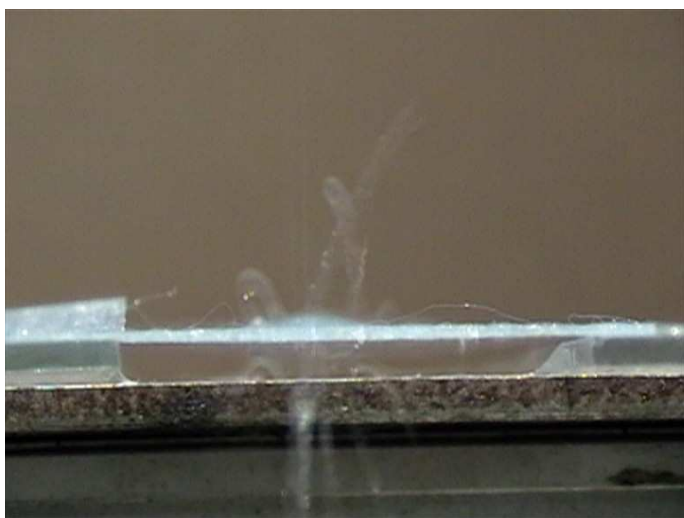
Obr.42: Ukázka kapky na nesmáčivé textilii, plošná hmotnost 20 g/m².



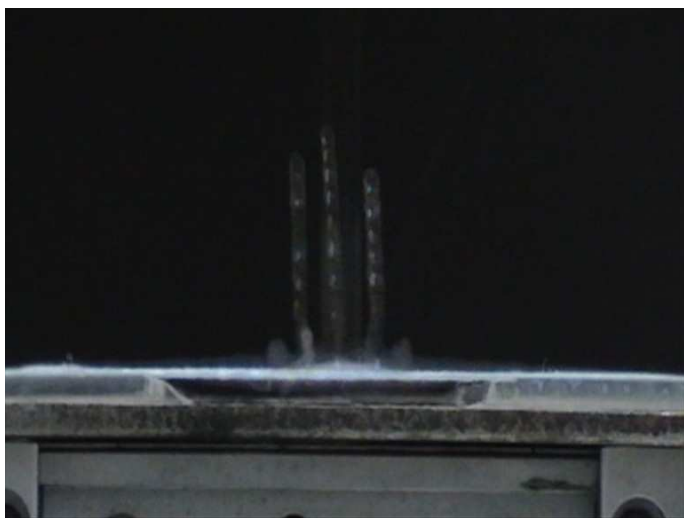
Obr.43: Ukázka kapky na nesmáčivé textilii s nanovrstvou, plošná hmotnost 23,2 g/m².

Z grafů na obrázcích uvedených v *Příloze 1* vyplývá že na šířku kapky má významný vliv právě nanovláknenná vrstva, která byla prvním měnícím se parametrem. Již malé množství nanovláken donutí kapku k tomu, aby se ustálila v protáhlém tvaru. Z měření však nebyla dokázána přímá úměra mezi množstvím vláken a šířkou ustálené kapky.

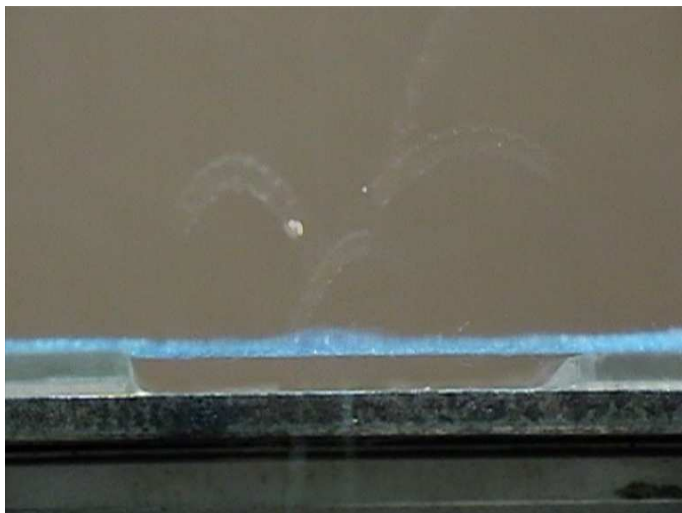
Dalším důležitým parametrem, který byl měněn a u kterého jsou jasné viditelné rozdíly, je vzdálenost pipety. Pro vzdálenost pipety 15 nebo 75 mm se chování kapky příliš nezměnilo, velká změna ale byla pozorována při vzdálenosti 150 mm. Se zvyšující se rychlostí dopadu dochází k daleko většímu odrazu kapky od textilie. V mnoha případech tak bylo možné pozorovat odštěpení několika malých kapiček od hlavní dopadlé kapky. Takovýto dopad pak připomínal „kapalný ohňostroj“, ukázky jsou na obrázcích *Obr.44* až *Obr.46*.



Obr.44: Ukázka odrazu kapky od vzorku č.1, vzdálenost pipety 150 mm.



Obr.45: Ukázka odrazu kapky od vzorku č.7, vzdálenost pipety 150 mm.



Obr.46: Ukázka odrazu kapky od vzorku č.2, vzdálenost pipety 150 mm.

Nejzajímavějším jevem při tomto experimentu byla tvorba kapalného prstu. Ten se totiž vytvořil pouze na

- vzorku č.2 při vzdálenosti pipety 15 mm, *Obr.49*,
- vzorku č.2 při vzdálenosti pipety 75 mm,
- vzorku č.10, při vzdálenosti pipety 150 mm, *Obr.50*.

I přesto, že kapka u výše uvedených vzorků za daných podmínek vytvoří kapalnou prst pod textilií, nedochází k oddělení kapky. Kapka je u vzorku č.2 zpětně vtažena do hmoty textilie a smáčí ji.



Obr.47: Ukázka vytvořeného kapalného prstu na vzorku č.2, vzdálenost pipety 15 mm.

Při vzdálenosti pipety 150 mm se kapka od vzorku č.2 odrazila a nedošlo k vytvoření kapalného prstu, charakteristického právě pro tento vzorek. Toto chování lze srovnat s kapkou, kterou pozoroval Quéré, a pro kterou definoval chování nad kritickou rychlostí. V jeho pokusech však kapka doslova vystřelila pod povrch. Vzorek č.2 se v tomto ohledu chová naprosto jinak než kovová destička. Vyšší rychlost kapky má za následek vystřelení kapky nad a nikoliv pod povrch textilie, jak je ukázáno na *Obr.46*.

U vzorku č.10 kapka vytvoří kapalný prst, viz. *Obr.48*, ale kapka se narozdíl od vzorku č.2 vrátí zpět na povrch textilie, kde se ustálí, jak je vidět na obrázku *Obr.49*. To může být zapříčiněno rozdílnými vlastnostmi obou vrstev, ze kterých se tento vzorek skládá. Spodní vrstva, nesmáčivá textilie, nedovoluje proniknutí kapky. Ovšem vrchní vrstva, tj. nanovláknenná vrstva se Slovasolem s nejmenší plošnou hmotností, ovlivňuje nesmáčivou textilií a zřejmě je příčinou jak vytvoření kapalného prstu, tak i návratu kapky na povrch textilie.



Obr.48: Kapalný prst na vzorku č.10, vzdálenost pipety 150 mm.



Obr.49: Ustálení kapky na povrchu u vzorku č.10.

Vzdálenost pipety, ze které byla kapka pouštěna na textilií, má vliv nejen na výšku ale i na šířku kapky při dopadu. Z grafů na obrázcích, nacházejících se v *Příloze 1*, vyplývá že, čím vyš byla pipeta, tím víc byla kapka protáhnuta do šířky.

Posledním z měnících se parametrů byla velikost pórů. I přesto že se velikost pórů mezi vzorky č.3 a č.7 ($0,26 \mu\text{m}^2$) a vzorkem č.1 ($3,17 \mu\text{m}^2$) řádově liší, tak nedošlo ke změně v chování kapky dopadající na povrch textilie. Textilie na vzorcích č.3 a č.7 nedovolily kapce vytvořit kapalný prst a ani větší velikost pórů u vzorku č.1 neměla za následek vytvoření kapalného prstu.

Velmi důležité je také poznamenat, že u žádné z natočených kapek nedošlo k oddělení kapky od textilie tedy, že textilií bylo zachyceno 100% tekutiny. V pokusu s kovovou destičkou, který provedl Quéré, to bylo „pouze“ 80% [30].

3 Experiment se vztlínáním kapaliny do nanovlákných vrstev

Pro nanovlákné vrstvy je možné použít omezené množství testů. Limitujícím parametrem nanovlákné textilie je její „jemnost“ a fakt že jakmile se shrne nebo přehne, už není možné ji znovu narovnat, vrstva se roztrhne.

U deskového testu je příliš komplikované uchycení vzorku, dříve než by se povedlo upnout vzorek nanovlákné textile, došlo by k jejímu poškození. Sifonový test je vhodnější pro daleko tužší textilie než je nanovlákná vrstva, proužek textilie u tohoto testu totiž visí mezi jednou nádobou, zásobníkem, a druhou sběrnou nádobou. Při tomto testu by nebylo možné upevnit nanovláknou vrstvu tak, aby bylo zajištěno neovlivnění nanovlákné vrstvy kontaktem s jiným materiálem. A nakonec dynamický test je přizpůsobený pro testování přízí.

Zbývající testy, proužkový a skvrnový, jsou s menšími problémy použitelné. Skvrnový test nabízí dvě možné varianty a to, variantu jedné kapky nebo variantu kontinuálního toku. Dále jsou v experimentu vyzkoušeny proužkový a skvrnový test s variantou jedné kapky a pro vypracování metodiky vztlínání byl použit upravený proužkový test.

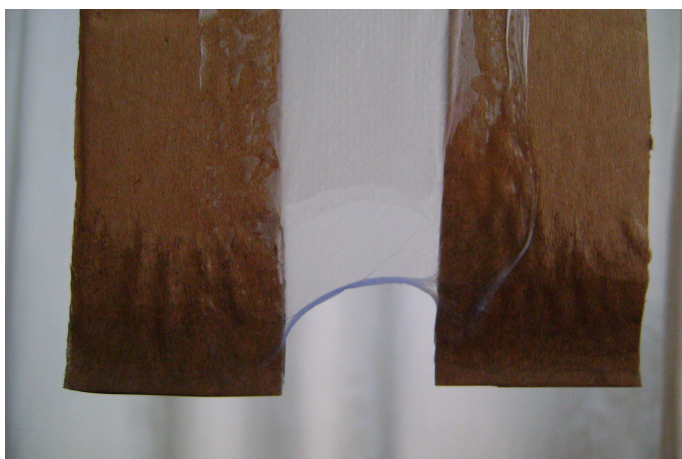
Pro následující testy byla použita nanovlákná vrstva oddělená od vzorku č.3. Od ostatních vzorků již nelze oddělit nanovláknou vrstvu, je příliš jemná a při oddělování se roztrhne.

3.1 Upravený proužkový test

Pro normovaný proužkový test je velikost vzorku 200 x 25 mm, tyto rozměry mohou být zachovány i pro test s nanovláknennou vrstvou, stejně jako doba testování 5 min a hloubka ponoření textilie do vody 10 mm. Voda je, pro lepší odečítání vyvzlínané tekutiny, obarvena inkoustem. Důležité je poznamenat že inkoust mění povrchové napětí, proto je na dalším zkoumání jaká koncentrace inkoustu ve vodě by byla nejvhodnější. U proužkového testu je ovlivnění inkoustem méně znatelné než u skvrnového testu, který je popsán dále.

Proužek nanovláknenné textilie musí být narozdíl od normovaného testu v horní části upnut a v dolní části je třeba připevnění malého závaží. Bez závaží v dolním okraji se nanovrstva shrnuje, jak je ukázáno na *Obr.50* a *Obr.51*. Na *Obr.54A* je ukázán způsob uchycení vzorku nanovláknenné textilie lepidlem. Pro účely tohoto experimentu bylo jako závaží použito špendlíku a jako upnutí kartonového papíru. Schéma experimentu je nakresleno na *Obr.54B*.

Po zaschnutí lepidla je přebytečný kartónový papír odstříhnut, jak je naznačeno na *Obr.54A*. Závaží, špendlík, je vhodné připevnit do textilie dříve než dojde k odstříhnutí papíru, textilie je totiž vypnutá a špendlík se snadno přidělavá. Test s neodstříhnutým kartónovým papírem by nebyl objektivní, protože voda vzlíná po papíru lépe než po nanovláknenné textilií a tak zkresluje výšku vyvzlínané hladiny, jak je ukázáno na fotografii na *Obr.50*.



Obr.50: Fotografie ukazující deformování nanovláknenné vrstvy upevněné na kartonovém papíru.

Uchycení textilie na jiný materiál, u kterého nedochází ke vztlínání do jeho struktury, sebou přináší další problémy. Například na plastu špatně drží lepidlo a navíc v místech kontaktu textilie s tímto materiálem se vytvoří „kapilára“ ve které dochází k lepšímu vztlínání tekutiny než u nanovlákněné vrstvy. Ukázka je na *Obr.51*.



Obr.51: Fotografie ukazující deformování nanovlákněné vrstvy upevněné na silné plastové fólii.

Výše popsané připevnění nanovlákněné vrstvy a především závaží je nezbytné proto, aby se textilie po vnoření do vody nedeformovala. Byl proveden test i bez uchycení a výsledky tohoto experimentu jsou ukázány na fotografiích na *Obr.52*. Z těchto fotografií vyplývá, že takto provedené měření by bylo neprůkazné.



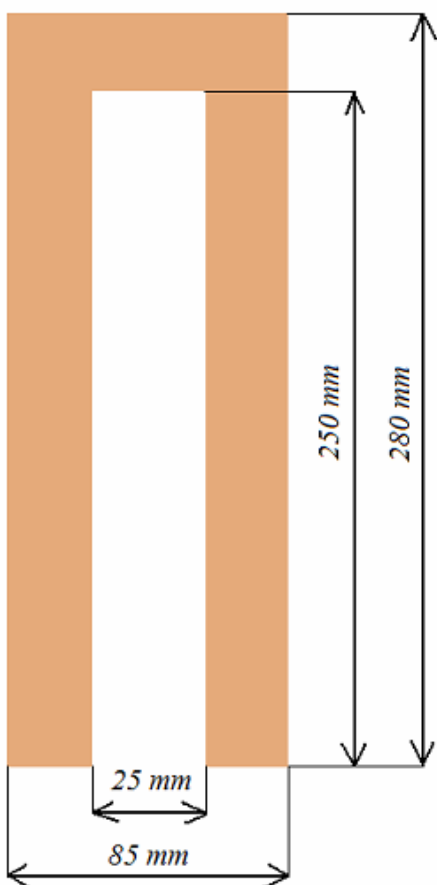
Obr. 52: Fotografie ukazující zdeformování nanovlákněné vrstvy po vnoření do vody.

Měřeným parametrem vztlínání je výška kapaliny vyvzlínané nad hladinu zásobníku H [mm]. Hmotnost vyvzlínané kapaliny nebyla hodnocena, protože kvůli jemnosti nanovláknenné vrstvy nelze proužek, sám o sobě, před ponořením zvážit aniž by došlo k jeho poškození.

Detailní postup při testu je popsán jako kuchařka níže.

3.1.1 Navržený test

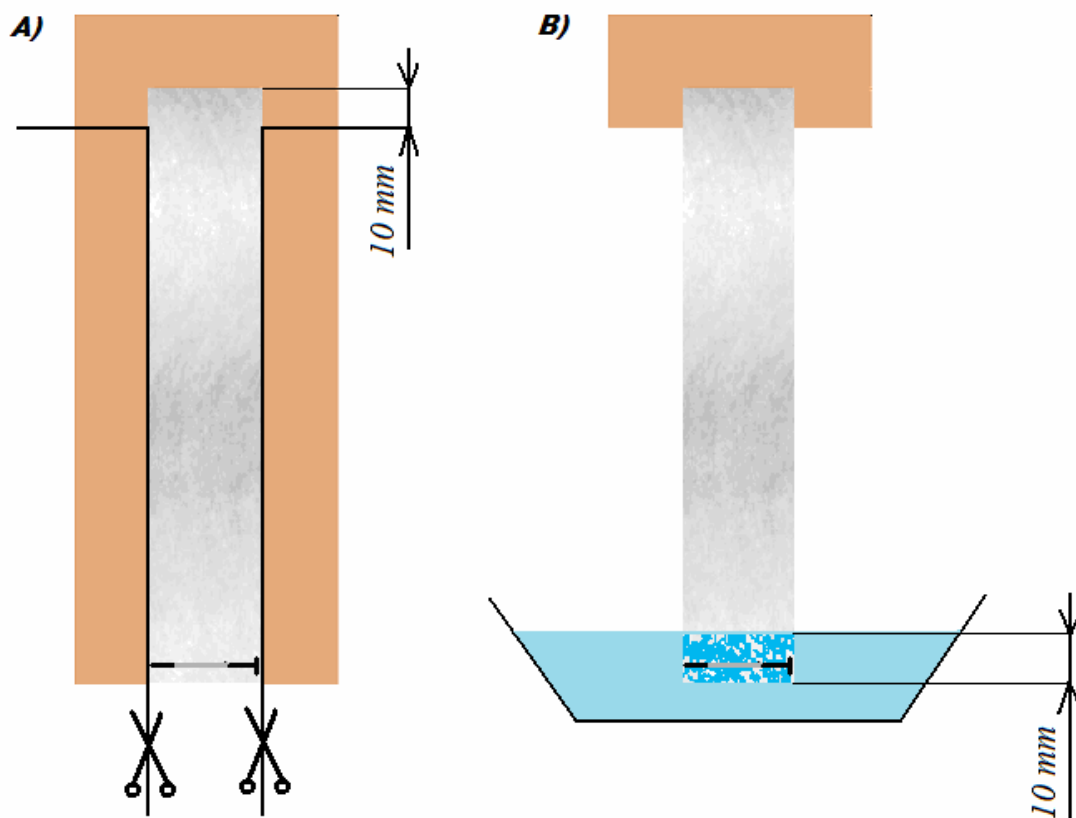
- 1) Připravte si kartónový papír o velikosti 280 x 85 mm.
- 2) V papíru vystříhnete otvor ve tvaru U o velikosti 250 x 25 mm, jak je naznačeno na obrázku *Obr.53*.



Obr.53: Naznačení velikosti kartónového papíru.

- 3) Natřete lepidlem okolí U otvoru.
- 4) Nalepte textílii s nanovláknennou vrstvou o rozměru 45 x 260 mm do otvoru v kartónovém papíru tak, aby nanovláknenná vrstva byla přímo na lepidle. Důkladně přimáčkněte.

- 5) Ještě než zaschne lepidlo opatrně oddělte nosnou textilií od nanovlákněné vrstvy tak, aby nanovlákněná vrstva zůstala přichycena ke kartónovému papíru.
- 6) Nechte zaschnout lepidlo.
- 7) Do dolního kraje nanovlákněné vrstvy připevněte špendlík ve vzdálenosti cca 5 mm od okraje.
- 8) Opatrně odstříhněte přebytečný kartónový papír přesně na rozhraní papír nanovlákněná vrstva. Papír zůstane pouze v horní části, jak je naznačeno na *Obr.54A*.
- 9) Dolní okraj připraveného vzorku ponořte do misky s tekutinou. Hloubka ponoření textilie je 10 mm. Ukázka je na *Obr.54B*.



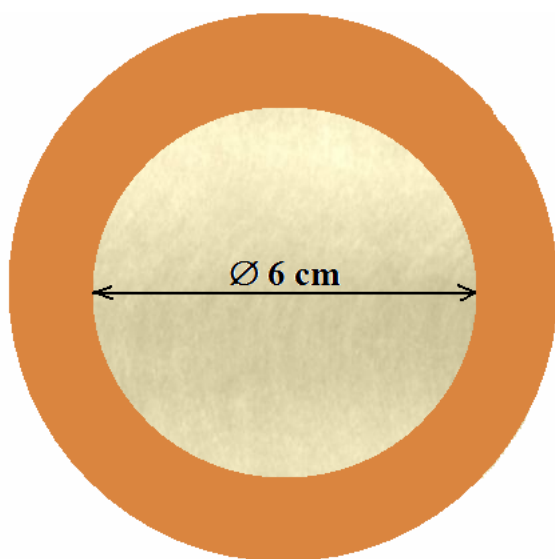
Obr.54: A) Připevnění nanovlákněné vrstvy na kartónový papír pomocí lepidla a naznačení odstříhnutí papíru. B) Schéma uspořádání při experimentu.

- 10) Textilii nechte ponořenou po dobu 5 minut.
- 11) Po uplynutí doby testu změřte výšku tekutiny vyvzlínané nad hladinu zásobníku.

Vyvzlínání tekutiny proběhne během zhruba jedné minuty, poté se vyvzlínaná výška ustálí. Proto je zde možné navrhnout poslední z úprav proužkového testu a to zkrácení doby testování na 3 nebo možná až na 2 minuty.

3.2 Upravený skvrnový test

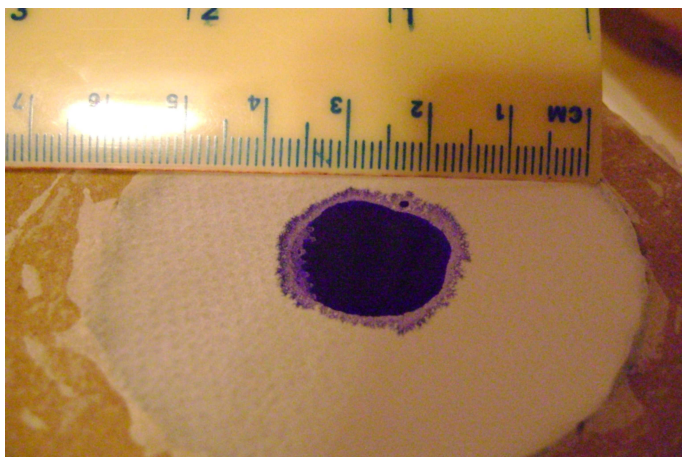
Skvrnový test byl použit takřka beze změny. Pro tento experiment byl použit test s variantou jedné kapky, při které je průměr vzorku 60 mm. Nanovlákněná vrstva je, stejně jako u proužkového testu, přilepena lepidlem na kartonový papír. *Obr.55* ukazuje vzorek připravený k testu.



Obr. 55: Připevnění nanovlákněné vrstvy na kartonový papír.

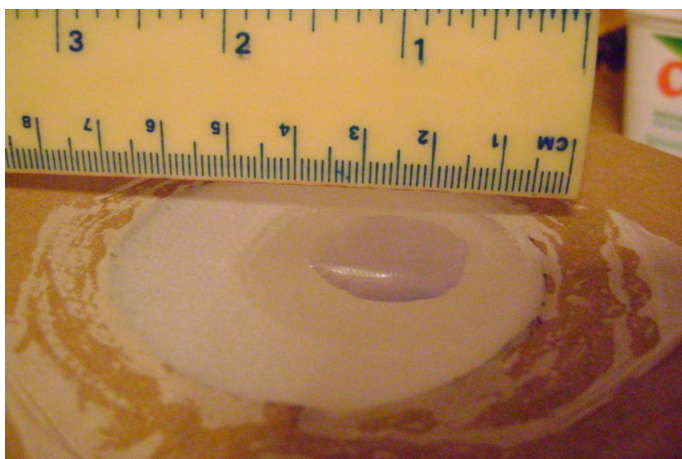
Na textilií je kápnuta kapka o objemu $0,3 \text{ cm}^3$ a je sledováno její vsátí v závislosti na čase. Experiment by měl trvat maximálně 5 minut.

U tohoto experimentu se ukázalo, že stanovení optimální koncentrace inkoustu bude nezbytné. Pro nenaředěný inkoust je vsátí kapky do textilie sice velmi dobře viditelné ale kapka téměř nevsákla, jak je ukázáno na *Obr.56*.



Obr.56: Ukázka kapky inkoustu na nanovlákněné vrstvě oddělené ze vzorku č.3.

S velmi malým množstvím inkoustu je vsátí tekutiny do textilie hůře viditelné, ale kapka se vsákla do nanovlákněné vrstvy daleko více, jak je ukázáno na *Obr.57*.



Obr.57: Ukázka kapky vody s malým množstvím inkoustu na nanovlákněné vrstvě oddělené ze vzorku č.3.

U žádné ze zkoumaných koncentrací nedochází k úplnému vsáknutí kapky do nanovlákněné vrstvy. Kapka se po uplynutí 1 minuty ustálí na povrchu. Zbylé 4 minuty, po které trvá test, se již s kapkou nic neděje. U tohoto testu je také, stejně jako u proužkového testu, možné navrhnout zkrácení doby testování.

Oba dva testy poskytují přibližně stejné výsledky. Použitá nanovláknenná vrstva oddělená ze vzorku č.3 je smáčivá a to je první předpoklad pro dobré vzlínání tekutiny. Oproti vzorku č.2 probíhalo vzlínání mnohem lépe. Nedá se ale říci že by u nanovláknenné vrstvy bylo vzlínání dobré. Nevyzlíná celý objem tekutiny ale pouze její malá část. U upraveného proužkového testu to bylo 1 cm do výšky a u upraveného skvrnového testu 1,5 cm do šířky.

Pro oba testy je velmi důležité opatrné zacházení a správné upevnění nanovláknenné vrstvy. Bez toho, aby byla vrstva rovná, bez zvrásnění a pomačkání, se nedá nic objektivního naměřit. Návrhem na další testování pak může být stanovení optimální koncentrace barvicí látky, ať už inkoustu nebo jiné látky, která poskytne stejnou funkci.

ZÁVĚR

Jak je již v úvodu naznačeno, praktické využití experimentu s dopadem kapky na textilií je veliké a možnosti použití nanovlákných vrstev ještě zdaleka nejsou vyčerpány. V experimentu bylo dokázáno, že kapka projde pouze smáčivou textilií. Tuto podmínku definoval ve své práci Quéré [31] a pro textilií byla pouze potvrzena. Nesmáčivá polyuretanová spun-bondová textilie kapku nepustila skrz svou hmotu ale polyuretanová spun-bondová textilie se smáčivou úpravou už ano, ale pouze při nízké rychlosti. Potvrdilo se i další Quérého tvrzení a to, že nad kritickou rychlostí dojde k odrazu kapky. V případě experimentu, provedeného v této práci, bylo kritické rychlosti dosaženo již při vzdálenosti pipety (ze které byla pouštěna kapka) 150 mm.

Nejdůležitější pro praktické využití bude fakt, že u žádného ze vzorků použitých v této práci nedošlo k oddělení kapky od textilie. Tedy, že pokud bychme jakýkoliv ze vzorků použili pro filtraci kapiček, byl by filtr stoprocentně účinný. Lepší reklamu si už textilní filtry nemůžou představit.

Experiment ale neposkytl pouze jasně definované a předpokládané výsledky. Nanovlákné vrstvy s povrchově aktivní látkou, v tomto případě se Slovasolem, nebo jinou, se přímo nabízí pro další testování. A není třeba vytvářet silné vrstvy nanovláken, vždyť nejzajímavější chování bylo pozorováno u vrstvy s nejmenší plošnou hmotností. Narozdíl od smáčivé textilie se totiž při nižších rychlostech nic zajímavého nedělo. Překvapení přišlo až s nejvyšší rychlostí, vytvořil se kapalný prst. Důvodů pro toto chování bude zřejmě více, nejpravděpodobnější je však interakce obou rozdílných vrstev.

Druhý experiment poukázal na to, jak problematické je zacházení s nanovláknou vrstvou, protože se chová jako o trochu silnější pavučina. Nejdříve bylo potřeba oddělit nanovláknou vrstvu od nosné textilie, následně u proužkového testu připevnit zátěž na dolní okraj a jako nejtěžší úkol se ukázalo ponoření textilie centimetr pod hladinu tekutiny. Navíc je třeba dávat si pozor na koncentraci látek, přidávaných pro snadnější odečítání vyvzlínané tekutiny. Například nenaředený inkoust, oproti čisté vodě, vyvzlínal naprosto nepatrně. Příčinou toho je jeho odlišné povrchové napětí.

Není jisté, zda tato práce poskytla více odpovědí, na otázky spojené s chováním kapalin v kontaktu s textilními útvary, nebo otázek. Jistotou ale naopak je, že poprvé v této práci byl zkoumán dopad kapky na nanovláknennou textilií. Užitečná bude jistě i vypracovaná metodika pro vztlínání do nanovláknenných vrstev, ikdyž i zde je ponechán dostatečný prostor pro další zkoumání.

Literatura

- [1] Wagner, J.: Fyzika [Přehled pro textilní fakultu]. 3. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1989. ISBN 80-7083-004-2
- [2] Sodomka, L., Valíček, J., Wyslych, P., Kušnerová, M.: Základy fyziky pro aplikace (Díl první). 1.vyd. Liberec: Adhesiv, 2007. ISBN 978-80-254-0153-8
- [3] Internetová stránka: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html, nalezeno 18.7. 2008
- [4] Internetová stránka: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html, nalezeno 18.7. 2008
- [5] Internetová stránka: http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/mit/TNT4_5.exe, nalezeno 1.10. 2008
- [6] Internetová stránka: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/mint/mit16.pdf>, nalezeno 1.10. 2008
- [7] Militký, J.: Přednášky, Textilní vlákna. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-169-5
- [8] Soukupová, V.: Computer simulation of wetting and wicking phenomena. 1.vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-996-1
- [9] Janotová, K.: Studium vztahu smáčení a struktury vláknenných materiálů, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1999
- [10] Dejlová, P.: Vzlínání kapaliny do textilií, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002
- [11] Kholová, I.: Vzlínání kapalin do vláknenného útvaru, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003
- [12] Chaloupek, J.: Smáčení vláknenných útvarů, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007
- [13] Soukupová, V.: Studium smáčení vláknenných svazků, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998
- [14] Reneker, D.H., Yarin, A.L.: Electrospinning jets and polymer nanofibers. [online], Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/>, nalezeno 31.10.2008.
- [15] Internetová stránka: <http://atmilab.upol.cz/spm.html>, nalezeno 31.10. 2008
- [16] Internetová stránka: <http://genetika.upol.cz/doc/OBVSBB/EM.pdf>, nalezeno 31.10. 2008

- [17] Internetová stránka: <http://www.molbio.upol.cz/stranky/vyuka/MB/2.pdf>, nalezeno 31.10. 2008
- [18] Internetová stránka: http://tomcat.prf.jcu.cz/sima/vybrane_kapitoly/spektr_elektronu.htm, nalezeno 31.10.2008
- [19] Internetová stránka: <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1556>, nalezeno 31.10.2008
- [20] Internetová stránka: http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/FT/2004/Difrakce/05_Karlik_CsCAsFyz_manu.pdf, nalezeno 1.11. 2008
- [21] Internetová stránka: http://www.vscht.cz/pol/prispevky_SVK_07/Votrubec.pdf, nalezeno 1.11. 2008
- [22] Internetová stránka: <http://fyzweb.cuni.cz/zajimavosti/hravafyzika/dvacetnik/index.htm>, nalezeno 18.11. 2008
- [23] Internetová stránka: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/povrchove_aktivni_latka.html, nalezeno 18.11. 2008
- [24] Internetová stránka: http://if.vsb.cz/Veda/foto1/povrchove_napeti.pdf, nalezeno 18.11. 2008
- [25] Internetová stránka: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/kapilarni_deprese.html, nalezeno 18.11. 2008
- [26] Internetová stránka: http://web.ft.utb.cz/cs/docs/_loha_slo_4.pdf?PHPSESSID=53886a7f068ed320156d05c22a45af9b, nalezeno 18.11. 2008
- [27] Harnett, P.R., Mehta, P.N.: Textile Res. J. 54, 471 (1984)
- [28] Lucas, R.: Kolloid - Z., 23, 15 (1918).
- [29] Washburn, E.W.: Phys. Rev., 17, 273 (1921)
- [30] Lorenceau, É., Quéré, D.: Drops impacting a sieve. Dostupné [online] na <http://www.sciencedirect.com>, nalezeno 28.10. 2008.
- [31] Kvasnica, J.: Mechanika, Academia Praha 1988, 476s.
- [32] Szekely, J. - Neuman, A.W - Chuang, Y. K.: J. Colloid Interface Sci., 35, 273 (1971).
- [33] Chatterjee, P. K.: Ed., Absorbency, Textile Science and Tech. Ser., Vol. 7, Elsevier, Amsterdam, 1985.
- [34] Laughlin, R. D., Davies, J. E.: Textile Res. J., 31, 904 (1961)
- [35] Internetová stránka: http://209.85.129.132/search?q=cache:Lmx9vHuiVB4J:artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/103_AFPRA%252005.doc+kohezn%C3%AD+tlak&hl=cs&ct=clnk&cd=6&gl=cz&client=firefox-a, nalezeno 1.3. 2009

- [36] Internetová stránka: <http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=464826&lan=cs>, nalezeno 15.3. 2008
- [37] Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika - Příručka pro vysoké školy technického směru. 3.vyd. Praha: SNTL, 1981
- [38] Internetová stránka: <http://www.it.cas.cz/~uruba/docs/ZIE/LDA.pdf>, nalezeno 29.3. 2009
- [39] Internetová stránka: <http://www.celysvet.cz/n1287-kychani.php>, nalezeno 2.4. 2009
- [40] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů, 2.vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-473-0
- [41] Internetová stránka: spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/245/245871.pdf nalezeno 13.5. 2009
- [42] Internetová stránka: www.ft.tul.cz/depart/ktc/dokumenty/fut/fin3.doc, nalezeno 13.5. 2009
- [43] Internetová stránka: http://imaging-imagerie.nrc-cnrc.gc.ca/eclipse_e.html, nalezeno 14.5. 2009
- [44] Internetová stránka: <http://www2.biomed.cas.cz/d331/vade/mikroskopy.html>, nalezeno 15.5. 2009
- [45] Internertová stránka: <http://itg.beckman.illinois.edu/ms/equipment/microscopes/esem/>, nalezeno 16.5. 2009

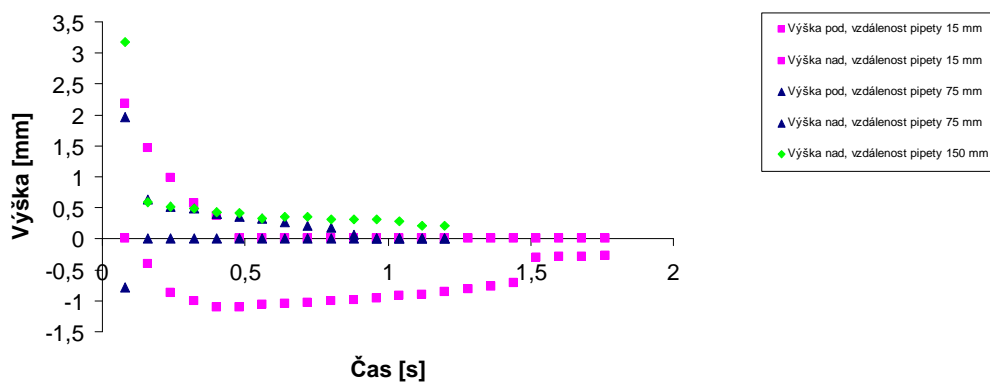
Seznam příloh

Příloha č.1: Grafické vyhodnocení experimentu s dopadem kapky na textilií

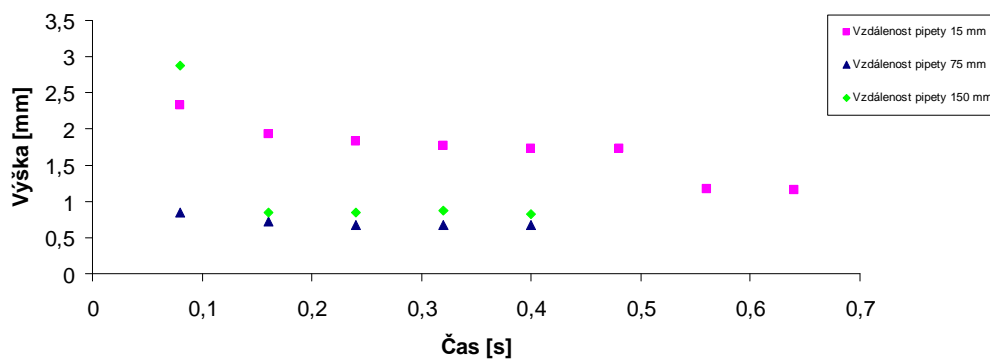
Příloha č.2: Graficky definované použité textilie

PŘÍLOHA 1

Grafické vyhodnocení experimentu s dopadem kapky na textilií

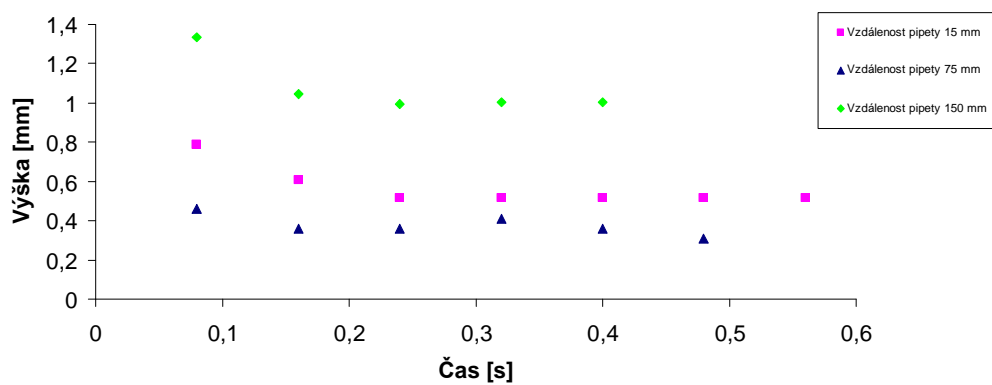


Obr.1: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na smáčivé textilií, plošná hmotnost 20 g/m².

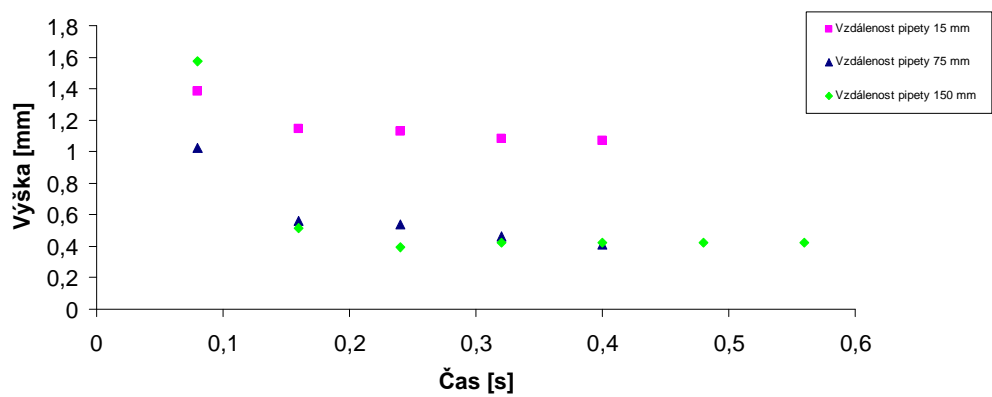


Obr.2: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na nesmáčivé textilií, plošná hmotnost 20 g/m².

Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary

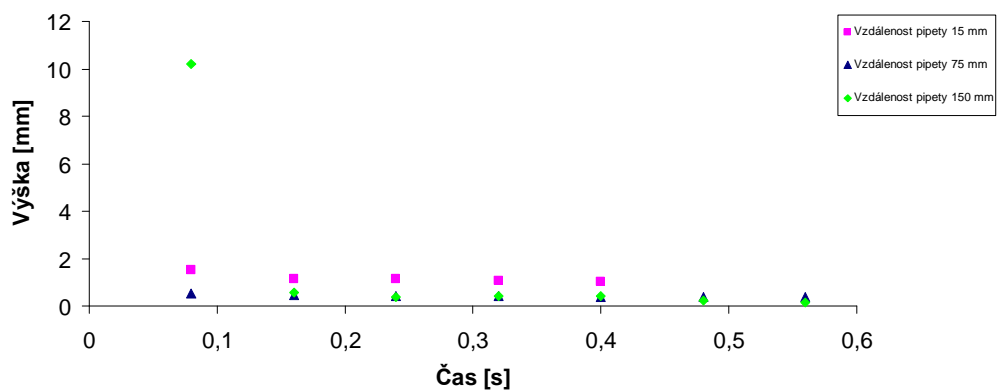


Obr.3: Porovnání výšky kapky při různé vzdálenosti pipety na textili s nanovrstvou, plošná hmotnost 20,4 g/m².

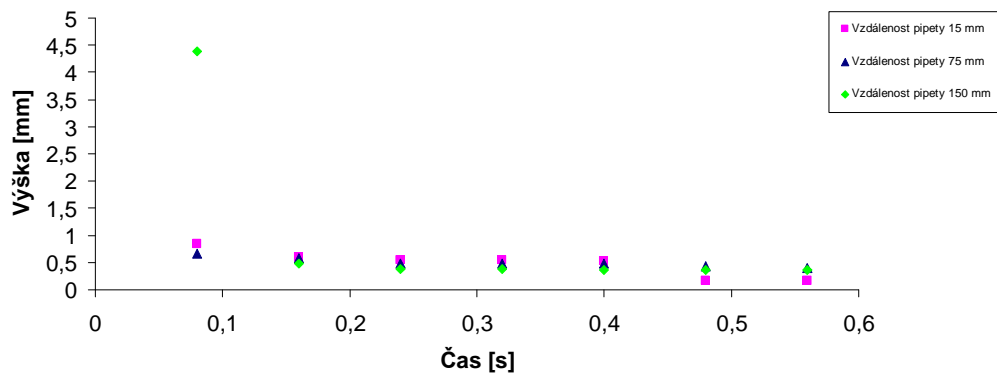


Obr.4: Porovnání výšky kapky při různé vzdálenosti pipety na textili s nanovrstvou, plošná hmotnost 20,8 g/m².

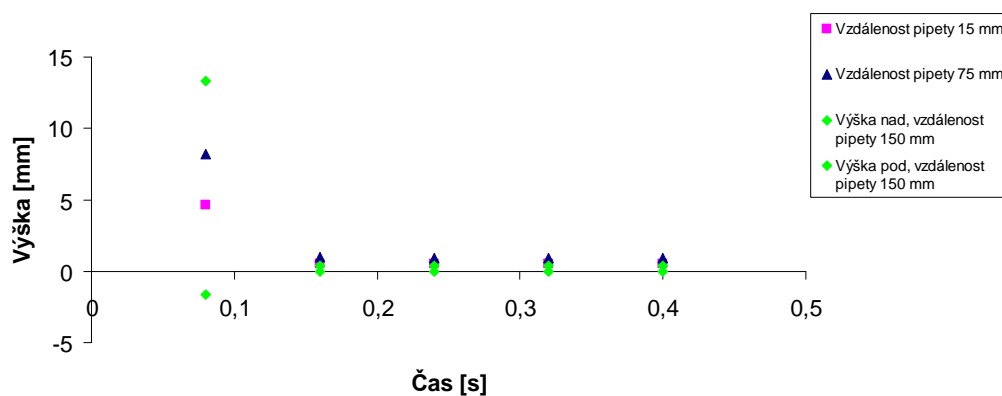
Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary



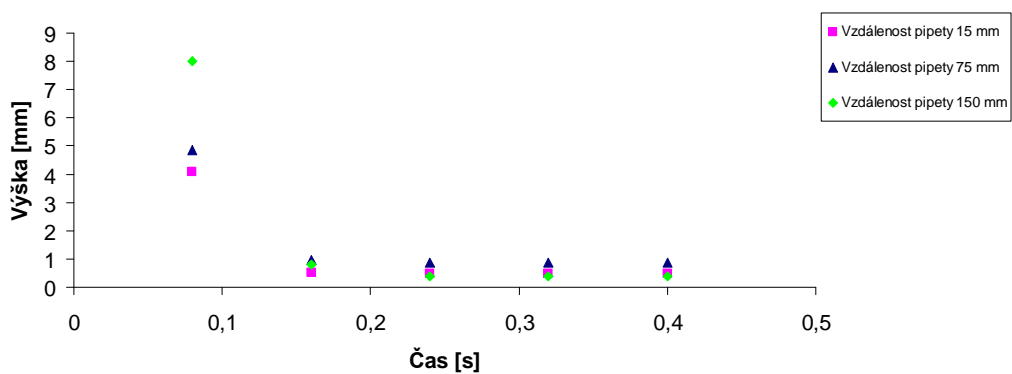
Obr.5: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s nanovrstvou, plošná hmotnost $21,6 \text{ g/m}^2$.



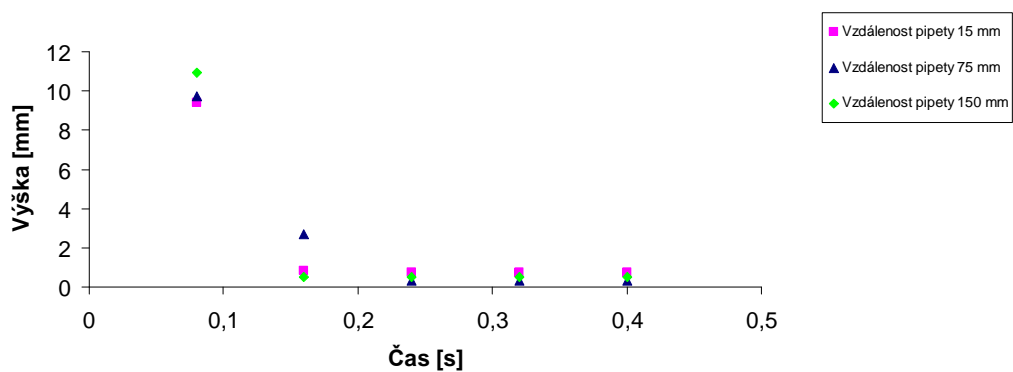
Obr.6: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s nanovrstvou, plošná hmotnost $23,2 \text{ g/m}^2$.



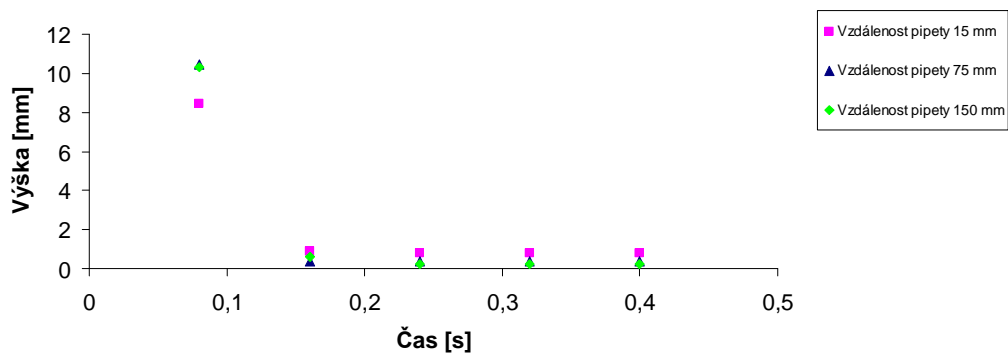
Obr.7: Porovnání výšky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 20,4 g/m².



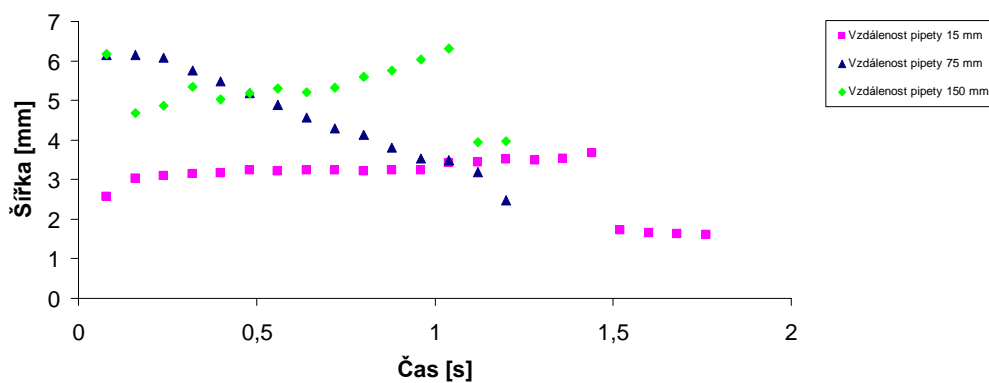
Obr.8: Porovnání výšky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 20,8 g/m².



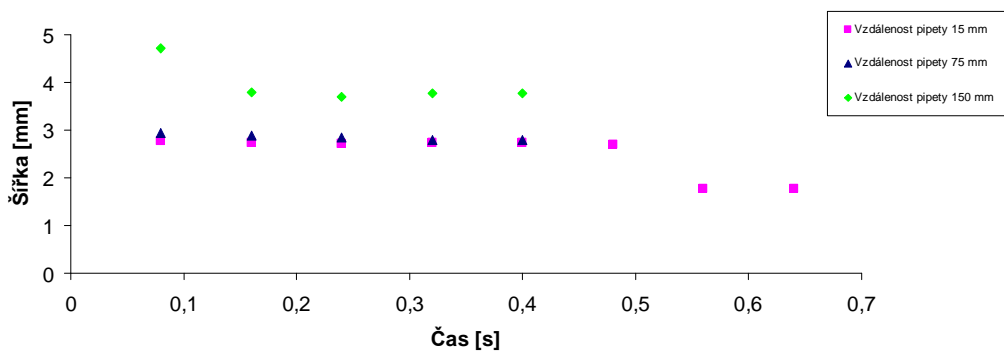
Obr.9: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 21,6 g/m².



Obr.10: Porovnání výšky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 23,2 g/m².

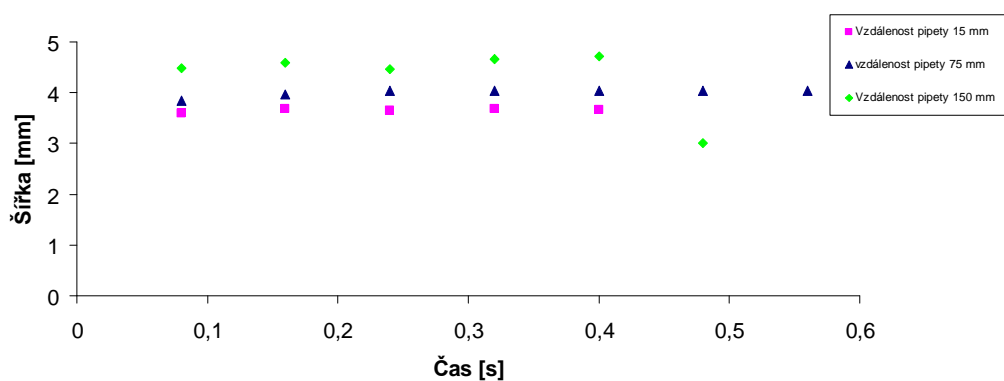


Obr.11: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na smáčivé textilií, plošná hmotnost 20 g/m².

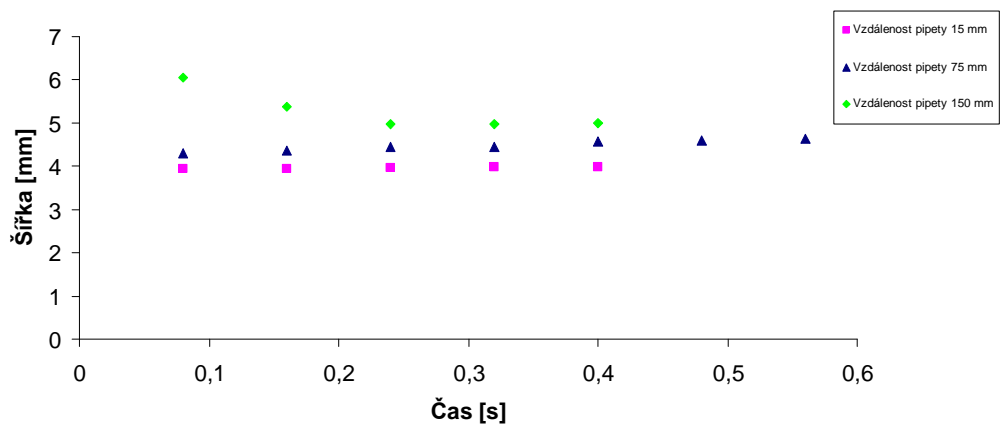


Obr.12: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na nesmáčivé textilií, plošná hmotnost 20 g/m².

Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary

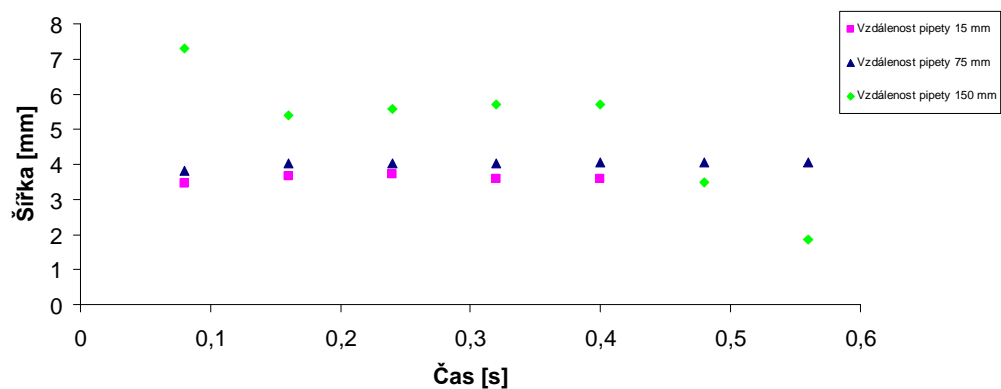


Obr.13: Porovnání šířky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s nanovrstvou, plošná hmotnost $20,4 \text{ g/m}^2$.

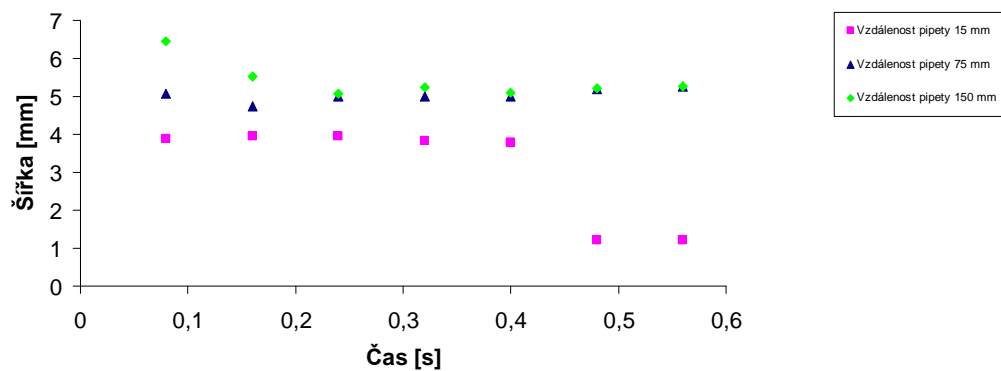


Obr.14: Porovnání výšky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s nanovrstvou, plošná hmotnost $20,8 \text{ g/m}^2$.

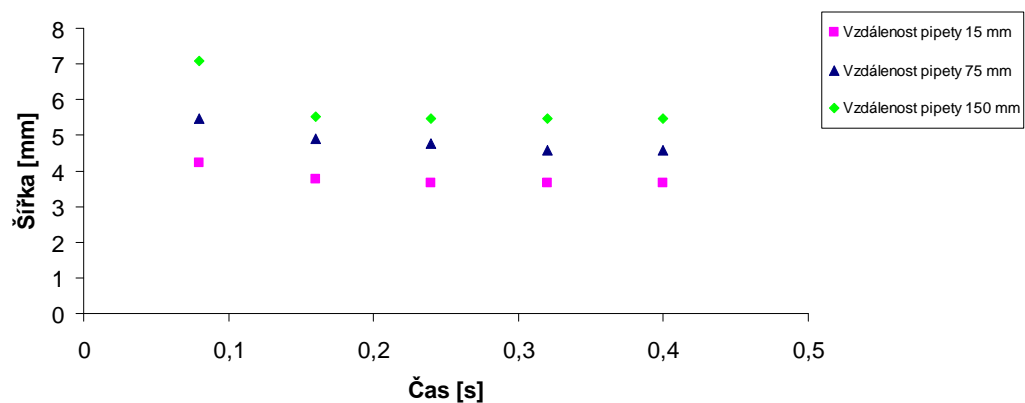
Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary



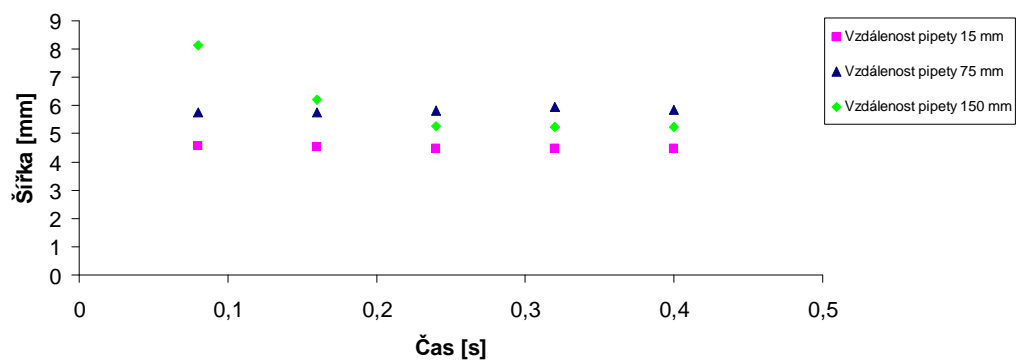
Obr.15: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na textili s nanovrstvou, plošná hmotnost 21,6 g/m².



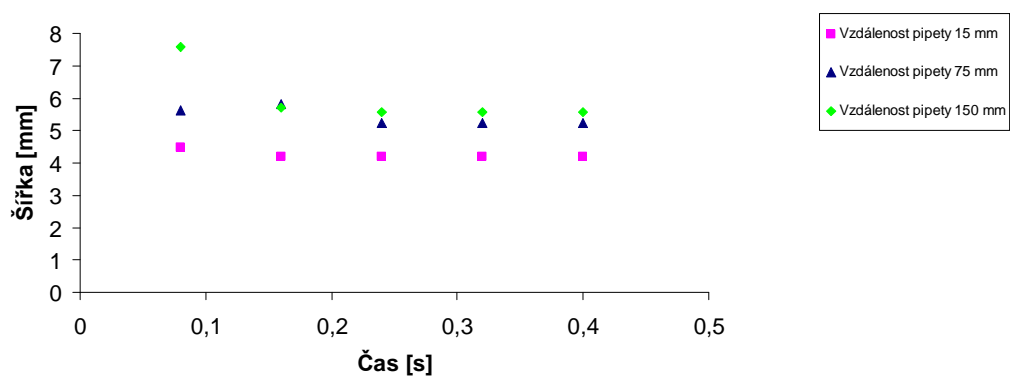
Obr.16: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na textili s nanovrstvou, plošná hmotnost 23,2 g/m².



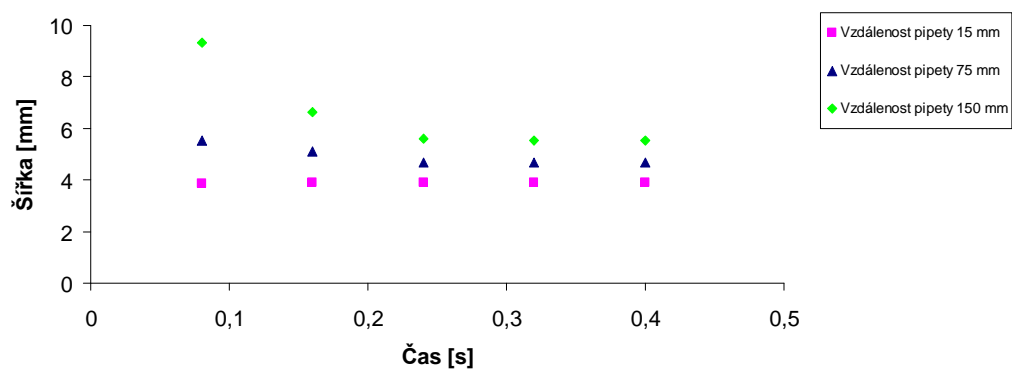
Obr.17: Porovnání šířky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 20,4 g/m².



Obr.18: Porovnání šířky kapky při různé vzdálenosti pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost 20,8 g/m².

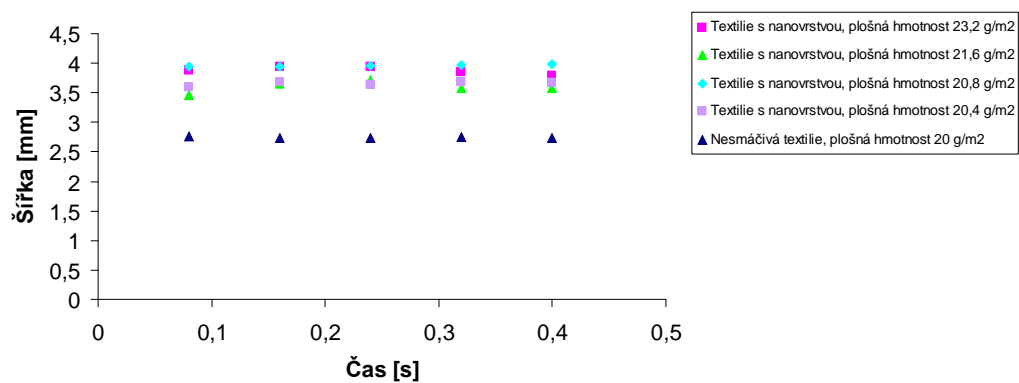


Obr.19: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost $21,6 \text{ g/m}^2$.

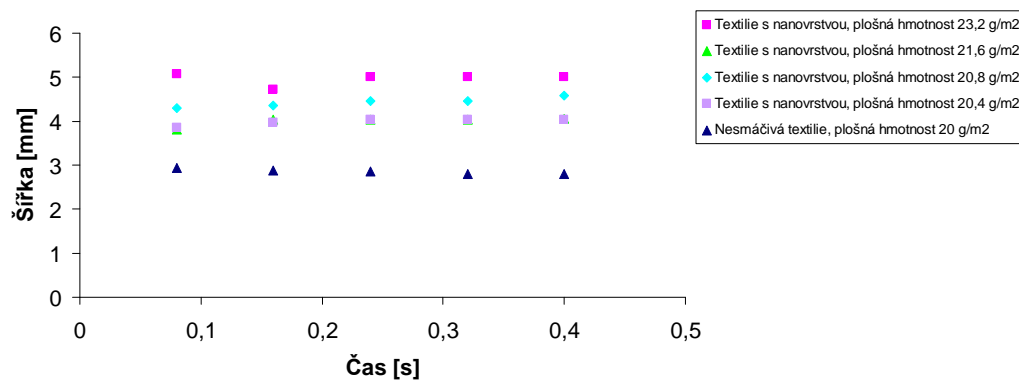


Obr.20: Porovnání šířky kapky při různých vzdálenostech pipety na textilií s povrchově aktivní látkou Slovasol, plošná hmotnost $23,2 \text{ g/m}^2$.

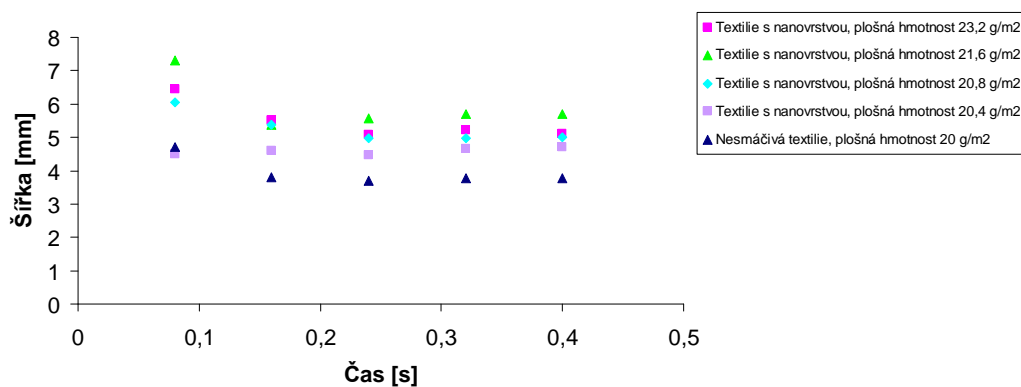
Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary



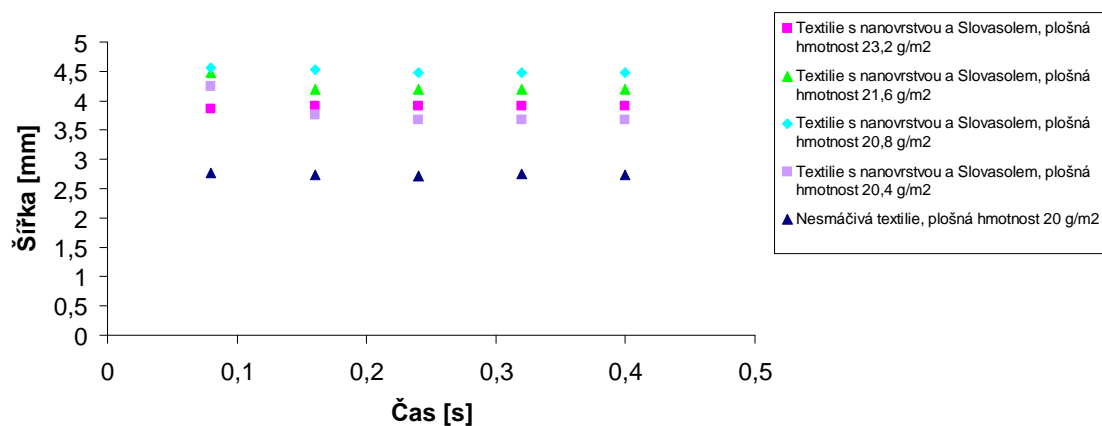
Obr.21: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken, vzdálenost pipety 15 mm.



Obr.22: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken, vzdálenost pipety 75 mm.

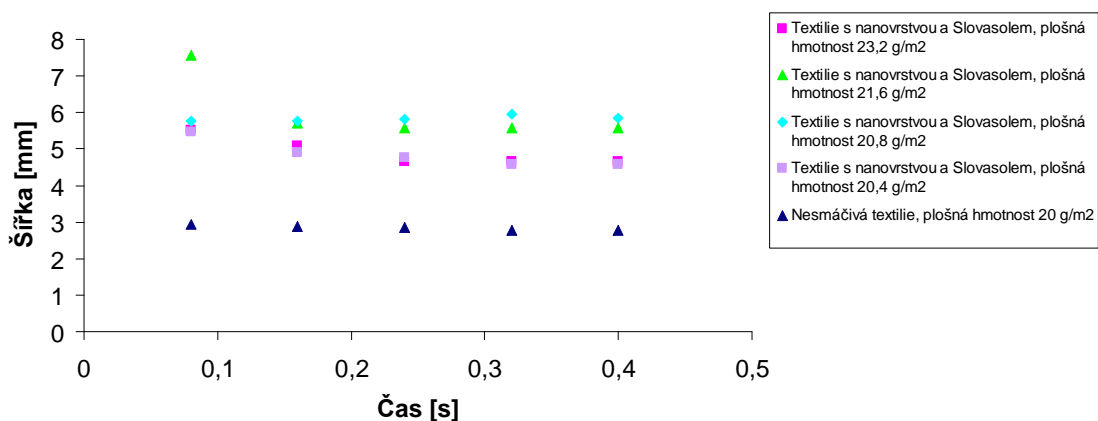


Obr.23: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken, vzdálenost pipety 150 mm.

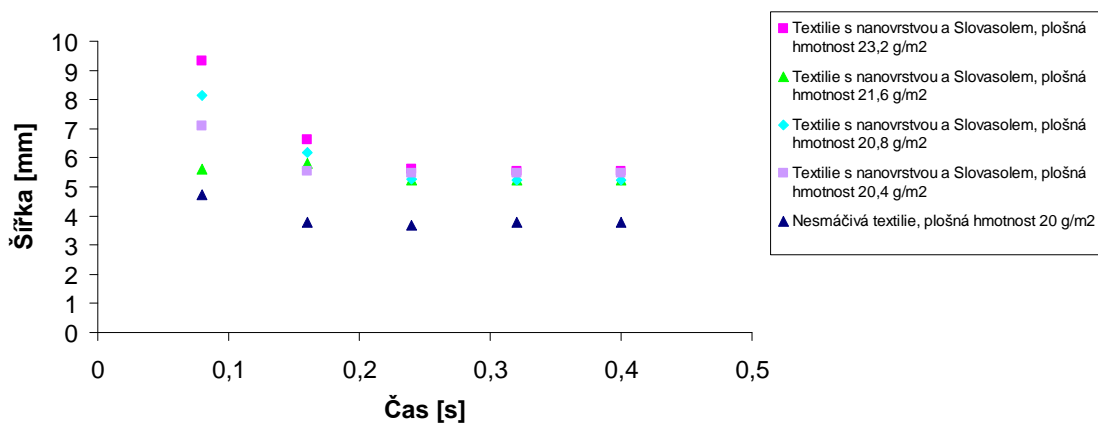


Obr.24: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken s povrchově aktivní látkou Slovasol, vzdálenost pipety 15 mm.

Chování kapalin v kontaktu s textilními útvary



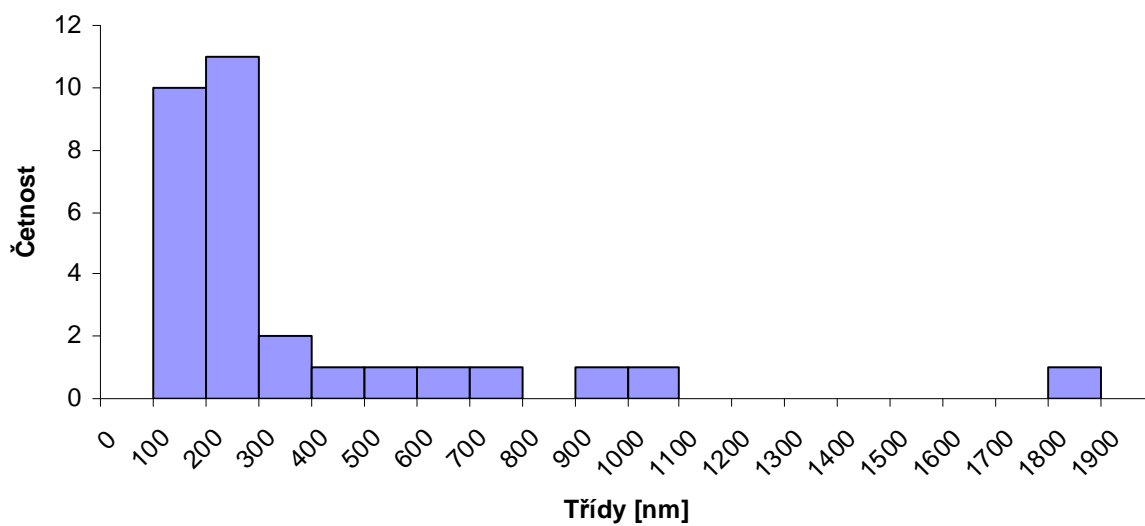
Obr.25: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken s povrchově aktivní látkou Slovasol, vzdálenost pipety 75 mm.



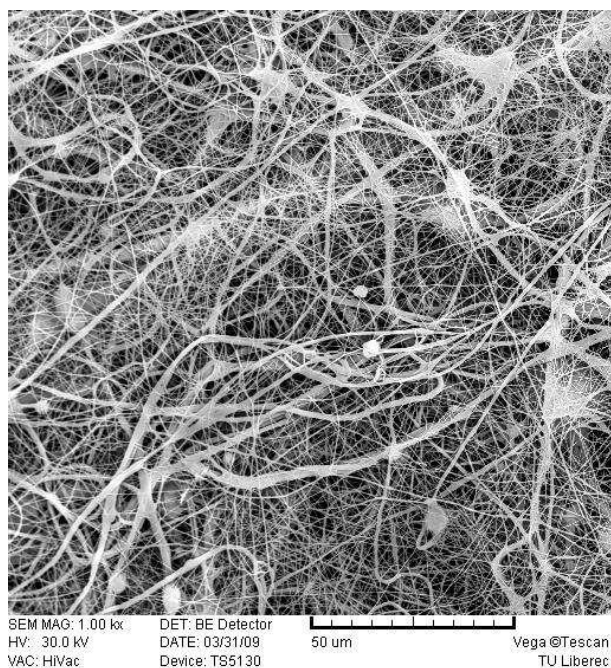
Obr.26: Porovnání šířky kapky na textiliích s různou vrstvou nanovláken s povrchově aktivní látkou Slovasol, vzdálenost pipety 150 mm.

PŘÍLOHA 2

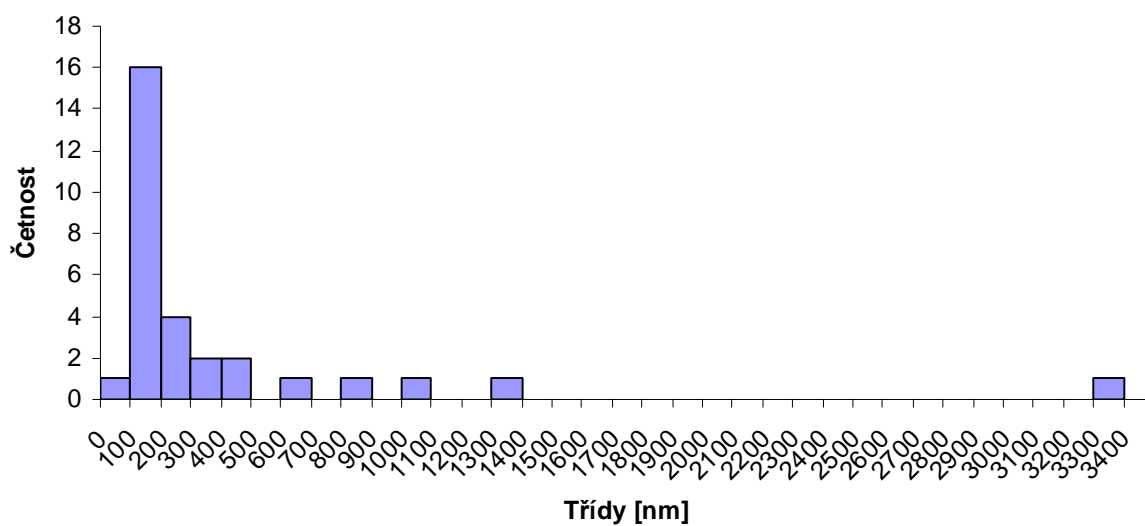
Graficky definované použité textilie



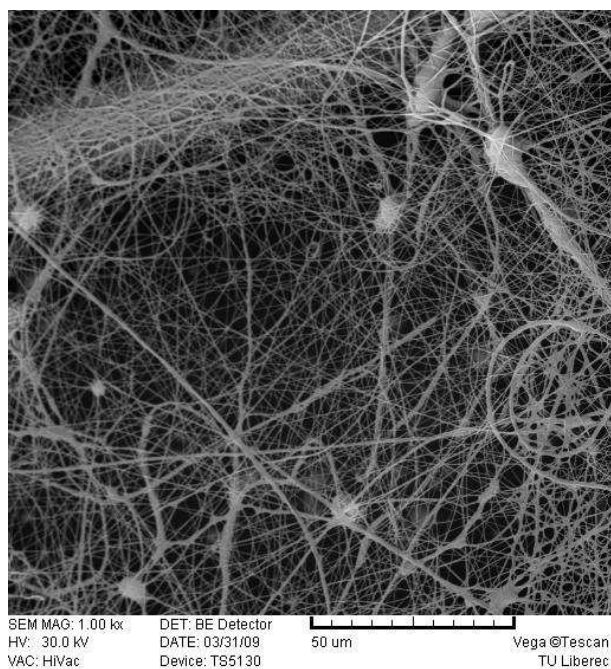
Obr.1: Průměry vláken na vzorcích č.3 a č.7.



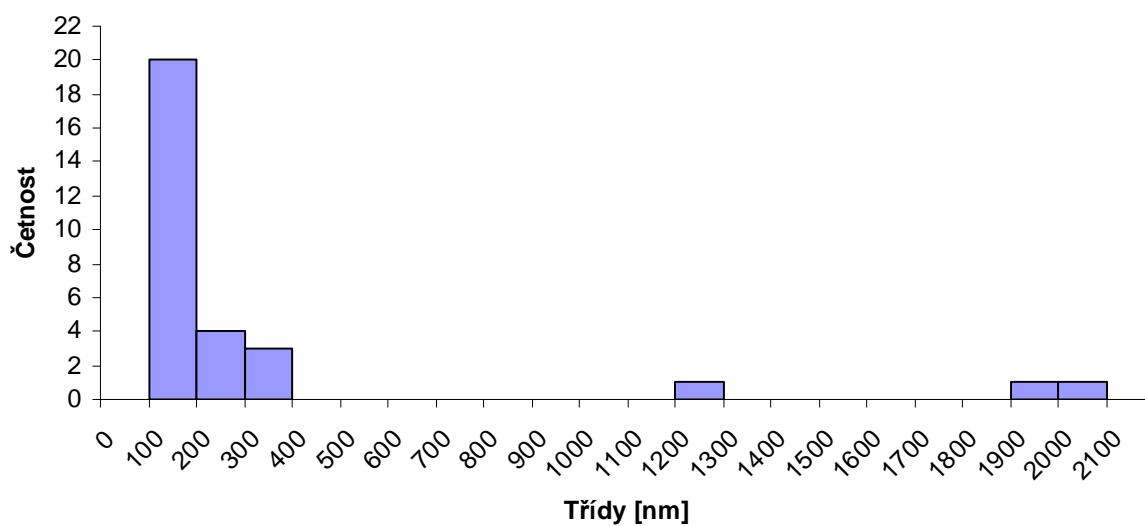
Obr.2: Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu, odpovídající vzorku č.3 a č.7.



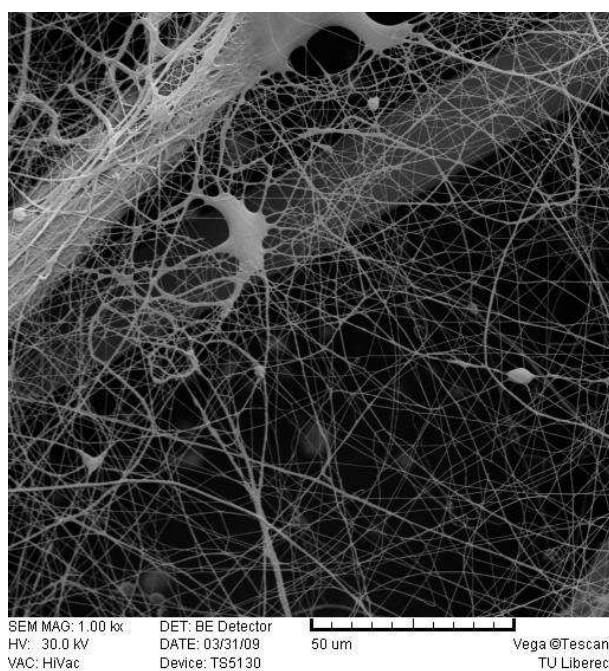
Obr.3: Průměry vláken na vzorcích č.4 a č.8.



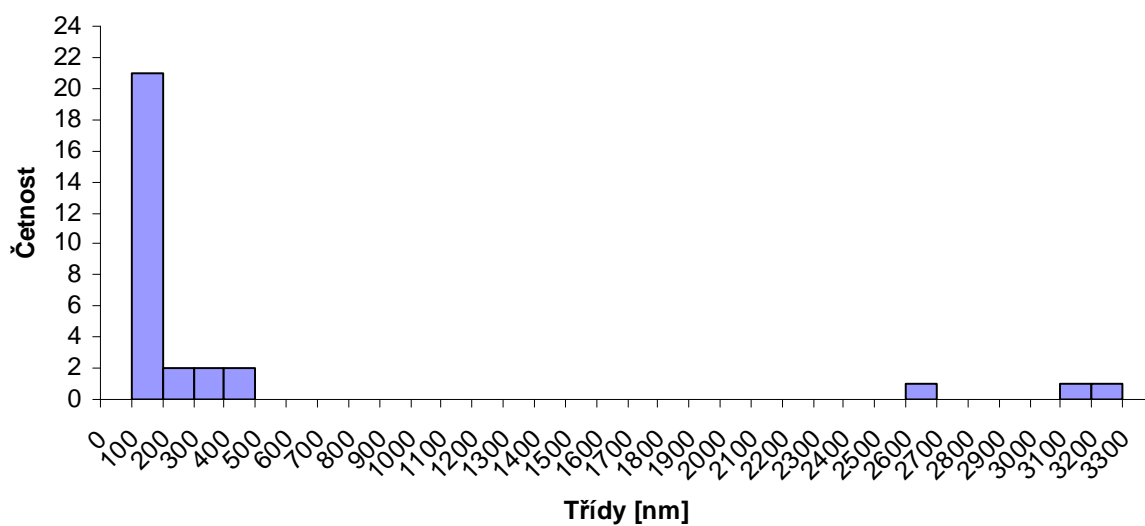
Obr.4: Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu, odpovídající vzorku č.4 a č.8.



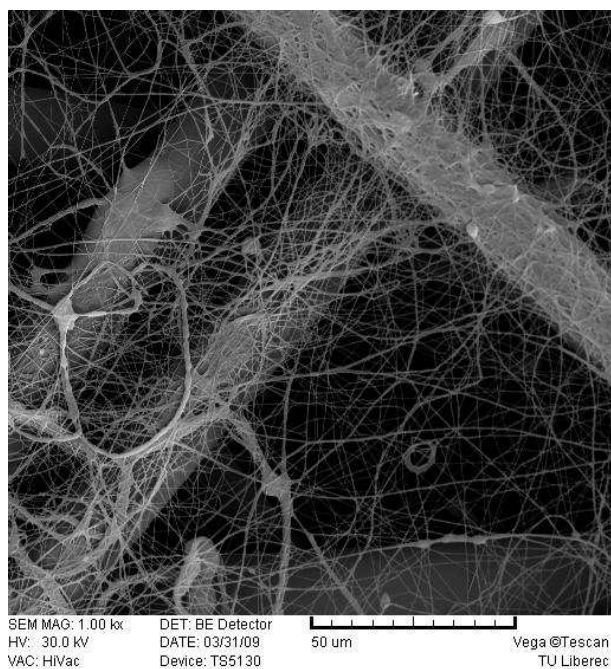
Obr.5: Průměry vláken na vzorcích č.5 a č.9.



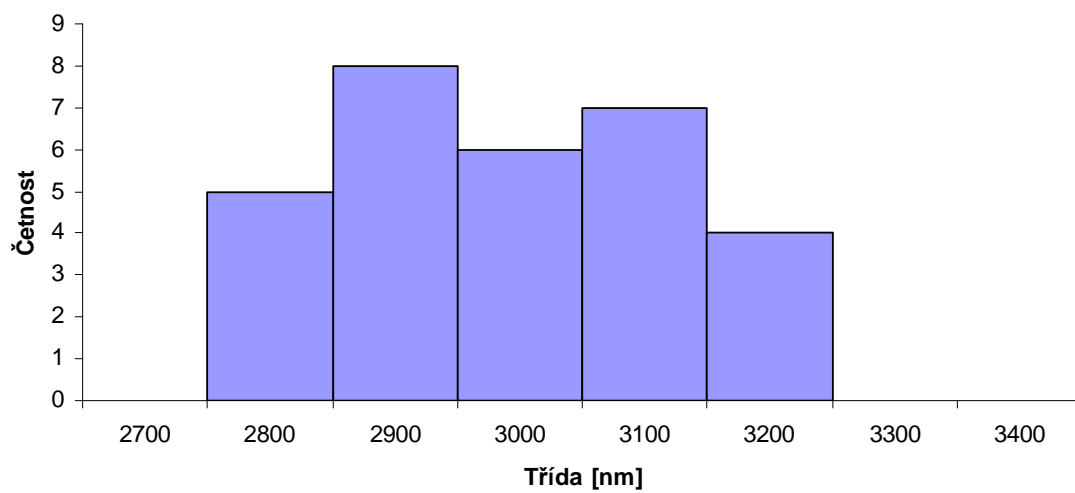
Obr.6: Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu, odpovídající vzorku č.5 a č.9.



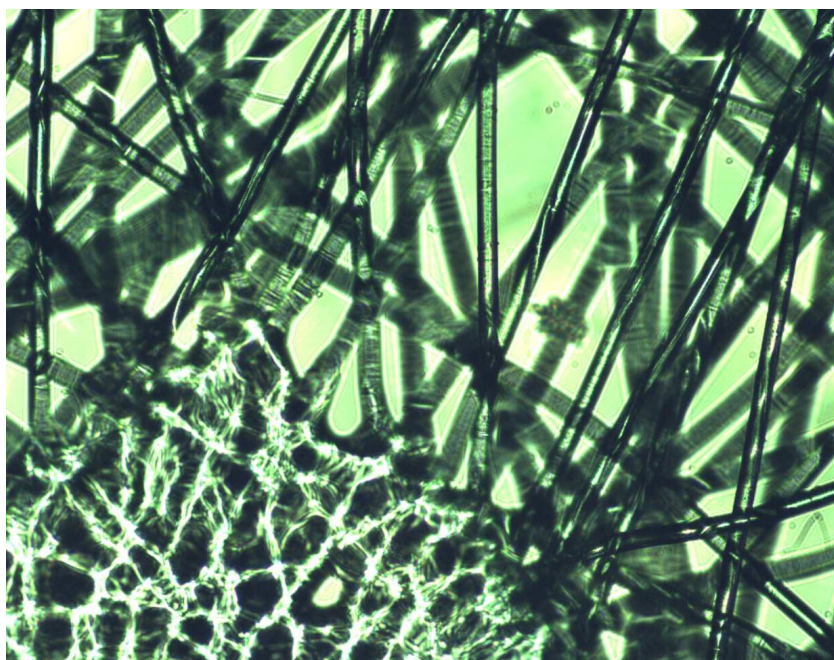
Obr.7: Průměry vláken na vzorcích č.6 a č.10.



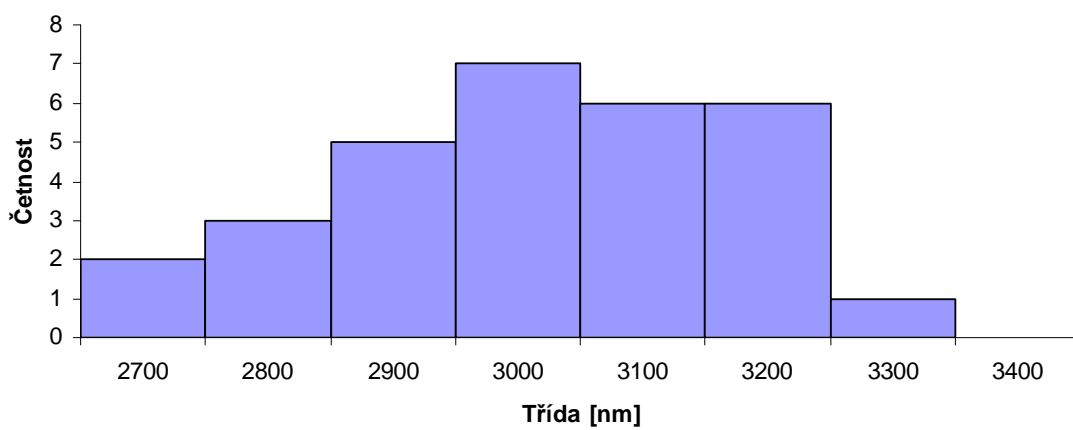
Obr.8: Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu, odpovídající vzorku č.6 a č.10.



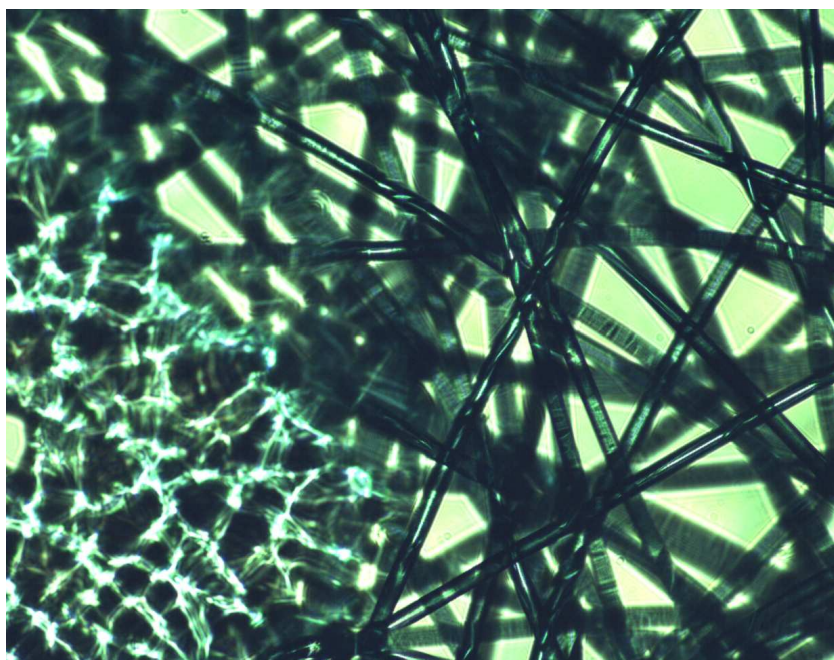
Obr.9: Průměry vláken na vzorku č.1.



Obr.10: Snímek z fluorescenčního mikroskopu, odpovídající vzorku č.1.



Obr.11: Průměry vláken na vzorku č.2.



Obr.12: Snímek z fluorescenčního mikroskopu, odpovídají vzorku č.2.